

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**»

Политехнический институт

институт

Теплотехники и гидрогазодинамики

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В. А. Кулагин

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Использование возобновляемых источников энергии при теплоснабжении
жилых объектов

тема

Руководитель

подпись, дата

ст. преподаватель

должность, ученая степень

Л.Я. Жадаева

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

А.П. Спиридонов

инициалы, фамилия

Красноярск

2023

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа «Использование возобновляемых источников энергии при теплоснабжении жилых объектов» содержит 68 страниц текстового документа, 10 использованных источников, 27 рисунков и 16 таблиц.

ГЕЛИОСИСТЕМА, СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ, КОЛЛЕКТОР.

Объект аудита: система теплоснабжения, состоящая из гелиоустановки и котла для загородного дома.

Цель аудита:

- изучение гелиосистем;
- расчет теплотерь загородного дома;
- подбор соответствующего оборудования;
- технико – экономическое обоснование введения гелиосистемы.

В результате проведения данного аудита были изучены возобновляемые источники энергии, в частности солнечная энергия. Выявлены особенности при эксплуатации солнечного оборудования. Был проведен расчет тепловых потерь при соответствующих климатических особенностях, гидравлический расчет. Совершен расчет угла наклона коллекторов, расчет солнечной радиации, а также площадь поверхности коллекторов. Было выбрано требуемое оборудование для данной системы. Определены затраты и окупаемость проекта.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. Гелиосистема – в чем суть устройства.....	8
1.1 Определение и назначение гелиосистем	8
1.2 Принцип работы гелиосистемы.....	8
1.3 Состав гелиосистем	9
1.4 Виды коллекторов.....	10
1.4.1 Вакуумный солнечный коллектор	11
1.4.2 Плоский солнечный коллектор	11
1.5 Виды гелиосистем.....	13
1.5.1 Активные гелиосистемы	13
1.5.2 Пассивные гелиосистемы.....	13
1.5.3 Одноконтурная гелиосистема.....	14
1.5.4 Двухконтурная гелиосистема	14
2. Расчет системы отопления здания.....	16
2.1 Описание объекта исследования	16
2.2 Расчет теплотерь ограждающих конструкций.....	19
2.2.1 Расчет ГСОП.	19
2.2.2 Расчет теплозащитных свойств наружных стен	21
2.2.3 Расчет теплозащитных свойств оконных проёмов.....	23
2.2.4 Расчёт теплозащитных свойств дверных проёмов.....	23
2.2.5 Расчет теплозащитных свойств бесчердачного перекрытия.....	24
2.2.6 Расчет теплозащитных свойств полов по грунту	25
2.3 Расчёт мощности системы отопления.....	27
2.3.1 Расчёт тепловых потерь помещений.....	27
2.3.2 Расчет теплоты на нагрев инфильтрующего воздуха	33
2.3.3 Теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы ...	35
2.3.4 Бытовые теплопоступления	37
2.3.5 Тепловой баланс помещений загородного дома	38
2.4 Подбор отопительного оборудования	40
2.5 Гидравлический расчет	45

2.6	Определение тепловой мощности на отопление	52
2.7	Определение тепловой мощности на ГВС	53
3.	Расчет солнечной установки	56
3.1	Определение наилучшего угла наклона коллекторов	56
3.2	Расчет солнечной радиации	56
3.3	Определение площади теплопоглощающей поверхности	58
4.	Подбор оборудования	60
4.1	Выбор аккумулирующего бака	60
4.2	Выбор отопительного котла	61
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	68

ВВЕДЕНИЕ

В 21 веке все больше и больше внимания уделяется развитию возобновляемых источников энергии. Эти источники энергии рассматриваются как дополнение, а в дальнейшем, возможно, также и заменой традиционным источникам. Возобновляемая энергия — это энергия, которую можно производить из источников энергии, которые не иссякнут в долгосрочной перспективе и не загрязняют окружающую среду. Рассматриваемая энергия включает в себя энергию солнца, ветра, воды, геотермальную энергию, биомассу и другие источники, которые можно использовать для производства чистой энергии без опасности истощения этих ресурсов. В отличие от производства энергии из ископаемых источников, которые являются неизбежно ограниченными, возобновляемая энергия является необходимым шагом к экологической устойчивости.

Используя возобновляемую энергию, можно значительно снизить углеродный след и затраты на энергетику, повышая, при этом, экономическую и экологическую эффективность.

Солнечная энергетика — это производство электроэнергии из солнечного излучения. Эта технология использует солнечные панели, гелиоустановки, которые преобразуют энергию солнца в электрический ток. Солнечная энергетика является экологически чистым источником энергии, не производящим выбросов вредных газов в атмосферу. Она является одним из наиболее дешевых и доступных типов возобновляемой энергии в мире. Солнечная энергетика является надежным решением для обеспечения домов, бизнеса и промышленных зданий энергией, особенно в регионах с высоким уровнем солнечной активности.

У солнечной энергетике множество преимуществ, среди основных можно выделить:

1. Экологически чистая энергия. Солнечная энергия не производит выбросов вредных газов в атмосферу.

2. Надежность. Солнечные панели имеют долгий срок службы - до 25 лет, и требуют минимальной технической поддержки.

3. Независимость. Владелец солнечной энергетической системы становится независимым от стоимости электроэнергии на рынке, а также от государственных и коммунальных служб.

4. Экономия денежных средств. Использование солнечной энергии позволяет существенно снизить расходы на энергоснабжение, особенно на длительном периоде времени.

5. Подходит для децентрализованных систем. Солнечная энергия может быть использована для создания децентрализованных систем энергоснабжения, что особенно важно для удаленных районов, где проводка электричества недоступна или очень дорого стоит.

6. Простота установки. Солнечные панели могут быть установлены на крышах домов или на земле, что делает их простым и быстрым в установке.

Но также имеется и ряд недостатков, к ним относят:

1. Высокая стоимость. Установка солнечных панелей может быть очень дорогой, особенно для больших проектов.

2. Зависимость от погоды.

3. Требуется большая площадь. Для работы солнечных панелей требуется достаточно места, особенно при больших проектах.

4. Экологические проблемы. Существует опасность загрязнения окружающей среды при производстве и утилизации солнечных панелей, а также во время работы солнечных электростанций.

В целом, с недостатками солнечной энергетики можно бороться, а ее преимущества перевешивают соответствующие недостатки. Однако, для каждого конкретного случая необходимо проводить соответствующее исследование и оценку эффективности использования солнечной энергии.

Также существует заблуждение, что в районах с небольшим количеством солнечной интенсивности солнечное оборудование не имеет смысла, но это не так. Солнечные коллекторы устроены таким образом, что панели улавливают

ультрафиолетовые лучи, тем самым это дает понять, даже во многих районах есть смысл использовать солнечное оборудование.

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка системы отопления и системы ГВС при помощи гелиоустановки, совместно с котлом требуемой мощности.

Объект исследования: система теплоснабжения с комбинированным использованием гелиоустановки и котла.

Предметом исследования является совместное использование гелиоустановки и котла для покрытия нагрузки отопления и ГВС в загородном доме п. Удачный Красноярского края.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- Изучение гелиосистем в целом;
- Анализ климатических составляющих объекта;
- Теплотехнический расчет;
- Расчет солнечной установки;
- Подбор необходимого оборудования системы;
- Технико – экономическое обоснование проекта.

1. Гелиосистема – в чем суть устройства

1.1 Определение и назначение гелиосистем

Гелиосистема – это комплект оборудования, предназначенный для преобразования солнечной энергии в тепловую или электрическую.

Варианты монтажа установки гелиосистемы:

- Наклонный (на крышу с любым углом наклона ската).
- Горизонтальный (на плоскую крышу).
- Свободностоящий (солнечный коллектор с опорной конструкцией).

Прямой задачей гелиосистем является максимально эффективное преобразование энергии солнечного излучения в тепловую. На сегодня максимальный КПД гелиосистем достигает 95%, что является высочайшим результатом по сравнению с другими технологиями, но такой КПД возможен лишь при определенных условиях, которые в большинстве случаев не могут выполняться, поэтому средний КПД гелиосистем равен 60-75%.

Гелиосистемы используются для:

- Подогрев воды в бассейнах,
- Поддержка систем отопления,
- Нагрев воды в системе горячего водоснабжения.

1.2 Принцип работы гелиосистемы

Панели аккумулируют солнечное тепло и передают их теплоносителю. Он циркулирует через змеевик в накопительном резервуаре и отдает тепло воде, которую можно использовать для любых нужд. Весь процесс контролируется контроллером, который запускает насосную группу если теплообменник набрал необходимую температуру.

1.3 Состав гелиосистем

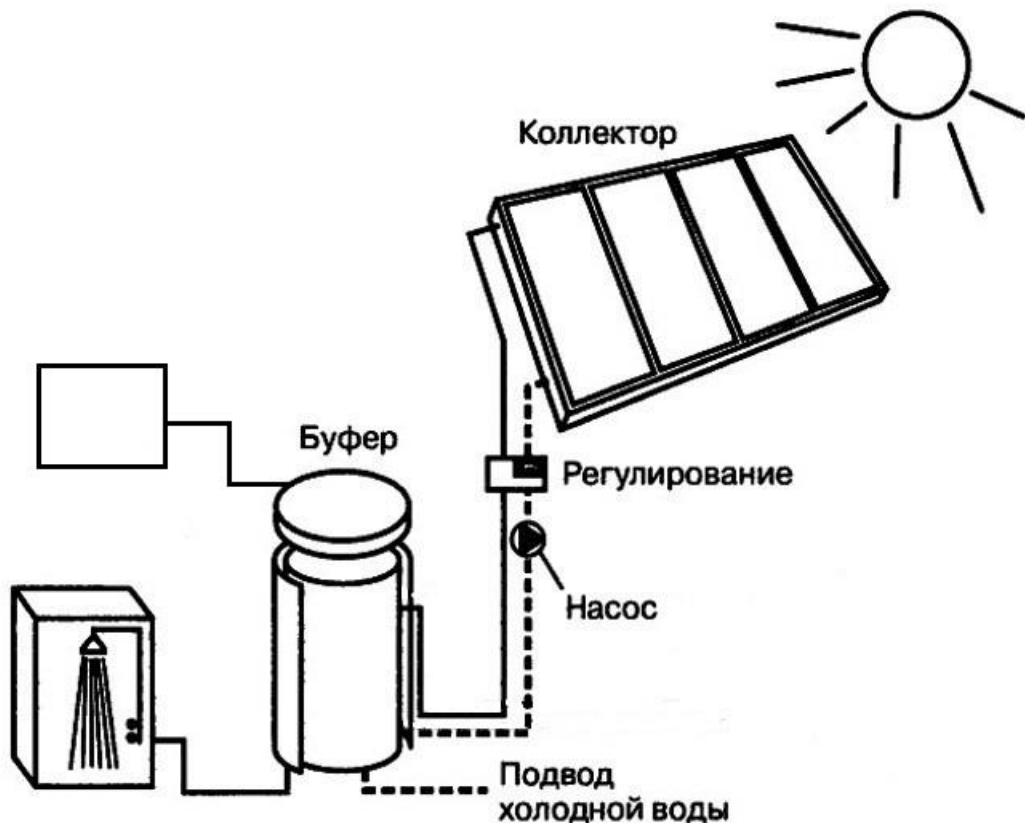


Рис.1 – устройство гелиосистемы.

Гелиоустановка состоит из трех обязательных элементов: вакуумный коллектор (также может использоваться плоские), накопительный резервуар и центр управления. Также в состав входят: рама для коллекторов, воздухоотводчик, насосная группа, термосмесительный клапан, соединитель коллекторов.

Вакуумный коллектор — комплекс вакуумных трубок, преобразующих поток солнечного излучения в тепловую энергию, где осуществляется первичная передача полученного тепла в накопительный резервуар через циркулирующий в системе теплоноситель.

Вакуумный коллектор комплектуется 10-30 вакуумными трубками, располагающимися параллельно друг другу. Количество коллекторов зависит от

потребностей, но обычно достаточно 1-2, в отдельных случаях — 4-6 и более. В зависимости от направления использования тепла и нагрузки.

Элементарной единицей преобразования энергии солнечного излучения в тепло являются вакуумные трубки. Они улавливают наиболее ценное с точки зрения получения тепла излучение, а полученное тепло — передают воде, которая непосредственно используется в быту или теплоносителю, посредством которого осуществляется нагрев воды для горячего водоснабжения или отопления.

Накопительный резервуар — бак требуемого объема в котором накапливается теплая вода, полученная от вакуумных коллекторов. Конструктивно выполнен в виде электрического бойлера с одним или двумя внутренними теплообменными спиралями.

Функции накопительного резервуара:

- Накопление горячей воды.
- Сохранение полученного тепла.
- Дополнительный подогрев воды (при необходимости).

По умолчанию резервуар комплектуется электронагревателем, но дополнительный подогрев (в случае необходимости) может осуществляться за счет любой системы энергогенерирования (газ, дизель, уголь, дрова и т. д.).

Центр управления — комплекс автоматического контроля функционирования вакуумного коллектора и накопительного резервуара, включающий контроллер, датчики температуры и давления, насос и запорные элементы. Она позволяет полностью автоматизировать процесс и установить наиболее эффективный режим работы системы в течение суток в зависимости от заданных потребителей параметров.

1.4 Виды коллекторов

Как уже говорилось, в гелиосистемах могут применяться 2 вида солнечных коллекторов: вакуумный и плоский.

1.4.1 Вакуумный солнечный коллектор

Вакуумный трубчатый коллектор состоит из рамы или креплений, корпуса-теплообменника (так называемого manifold) и стеклянных вакуумных трубок. Монтаж трубчатого коллектора можно осуществлять в несколько этапов: сначала устанавливаем раму, на раме закрепляем корпус, после чего по одной вставляем вакуумные трубки. Трубчатые вакуумные коллекторы также более эффективны по сравнению с плоскими коллекторами в холодное время года, так как вакуум обеспечивает минимальные теплопотери. Трубчатые вакуумные коллекторы отличаются по типу вакуумных трубок, а также по типу манифолда.

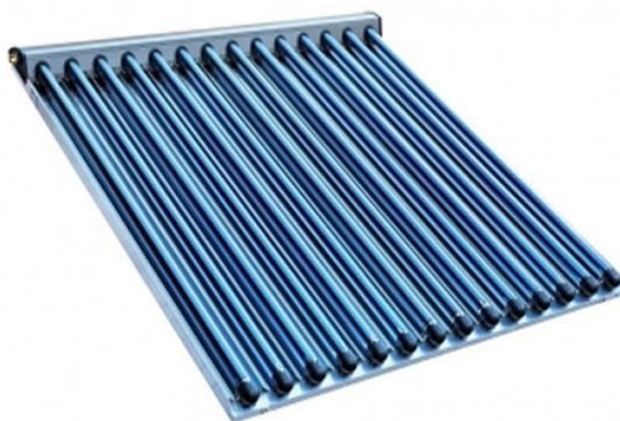


Рис.2 - Вакуумный трубчатый солнечный коллектор.

1.4.2 Плоский солнечный коллектор

Основным элементом плоского солнечного коллектора является абсорбер — металлическая пластина со специальным поглощающим покрытием и напаянным на нее проточным трубопроводом. Абсорбер заключен в специальный корпус, у которого лицевая стенка прозрачная (через нее в коллектор проникает солнечное излучение), а тыльная утеплена минераловатной

плитой либо слоем другого утеплителя. Внутренний трубопровод, по которому циркулирует теплоноситель, на абсорбере может располагаться по-разному.

Выделяют 3 основных типа расположения: «меандр», «арфа», «двойная арфа». Для повышения эффективности коллектора на абсорбер может быть нанесено специальное селективное покрытие. Наличие селективного покрытия значительно увеличивает производительность плоского коллектора, но, в то же время, увеличивает его стоимость.

Для уменьшения теплопотерь в холодное время года корпус плоского коллектора делают максимально герметичным. Таким образом теплоизоляция абсорбера достигается за счет слоя воздуха или инертного газа со стороны прозрачной передней стенки, и слоя утеплителя со стороны задней стенки.

Плоские коллекторы являются более эффективными в теплое время года, однако в зимнее время их эффективность значительно снижается по причине достаточно высоких теплопотерь.



Рис.3 - Плоский солнечный коллектор.

1.5 Виды гелиосистем

Гелиосистемы подразделяются на два типа (активные и пассивные) в зависимости от способа циркуляции нагреваемой жидкости, также имеют два варианта исполнения (одноконтурные и двухконтурные) в зависимости от количества контуров теплоносителя.

1.5.1 Активные гелиосистемы

Для циркуляции жидкости через коллектор используют насос, дополнительным оборудованием является контроллер и клапаны. При этом насос используется в случае необходимости интенсификации производства горячей воды, часто достаточно только естественной конвекции.

Достоинства активных гелиосистем:

- Большая производительность за счет активной циркуляции жидкости;
- Расположение бака не требует строгого размещения, поэтому системы легче модифицируются, чем пассивные системы.

Недостатки активных гелиосистем:

- Большая стоимость и затраты при эксплуатации и обслуживании;
- Зависимость от наличия электрической энергии, используемой для работы циркуляционного насоса.

1.5.2 Пассивные гелиосистемы

Циркуляция жидкости осуществляется за счет конвективных потоков. В основе этого процесса лежит явление естественной конвекции — стремление теплых масс воды вверх. При нагреве воды ее объем несколько увеличивается, а плотность и удельная масса снижаются. Вода становится легче и восходящими потоками поднимается по коллектору в верхнюю часть бака.

В свою очередь, холодная вода постепенно перетекает в коллектор, где также нагревается. Так происходит циркуляция водных масс в системе. С этим явлением мы сталкиваемся в жаркую погоду, когда влага испаряется с поверхности Земли, достигая верхних слоев тропосферы, водные массы собираются в облака, охлаждаются и выпадают в виде дождя.

Достоинства пассивных гелиосистем:

- Меньшая стоимость и затраты при эксплуатации и обслуживании;
- Независимость от наличия электрической энергии, используемой для работы насоса;
- Надежность, долговечность, легкость в эксплуатации.

Недостатки пассивных гелиосистем:

- Меньшая производительность за счет пассивной циркуляции жидкости;
- Бак имеет строгое размещение – выше коллектора и непосредственно примыкает к нему.

1.5.3 Одноконтурная гелиосистема

Вода по трубопроводной системе направляется от бака аккумулятора в солнечный коллектор, она нагревается и далее поступает в тепловую систему. В помещении вода отдает свою тепловую энергию воздуху и постепенно остывает. Далее вода направляется в бак, и цикл повторяется вновь.

Достоинства одноконтурных гелиосистем:

- Простота устройства;
- Высокий коэффициент полезного действия.

Недостатки одноконтурных гелиосистем:

- Вода вызывает коррозию металлов;
- Сложность в условиях работы низких температур.

1.5.4 Двухконтурная гелиосистема

Предполагают использование специального теплоносителя в виде незамерзающей жидкости (антифриз). При этом тепловая энергия передается к воде с помощью теплообменника, который часто имеет форму «змеевика».

Достоинства двухконтурных систем:

- Надежность;
- Безопасность и сохранность системы даже в зимний период;
- Продолжительная эксплуатация.

Недостатки двухконтурных систем:

- Низкая эффективность функционирования из-за наличия потерь тепла;
- Необходимость частой замены теплоносителя.

2. Расчет системы отопления здания

2.1 Описание объекта исследования

Объектом проектирования является загородный дом, расположенный в п. Удачный Красноярского края. На западе краевого центра, между Енисеем и улицей Лесной, на несколько километров протянулся поселок Удачный. Поселок Удачный – один из самых живописных красноярских районов: вытянулся на покрытом вековыми соснами берегу Енисея, обрамлен причудливыми известняковыми скалами, при этом в поселке сохранилась хорошая экологическая обстановка. Удаленность от суетливого центра города делает его достойным местом для проживания. Климат в данной местности подходит для использования солнечного оборудования.

Загородный дом площадью 300 м² имеет 2 основных этажа и мансарду.

Ниже представлены схемы дома.

Первый этаж

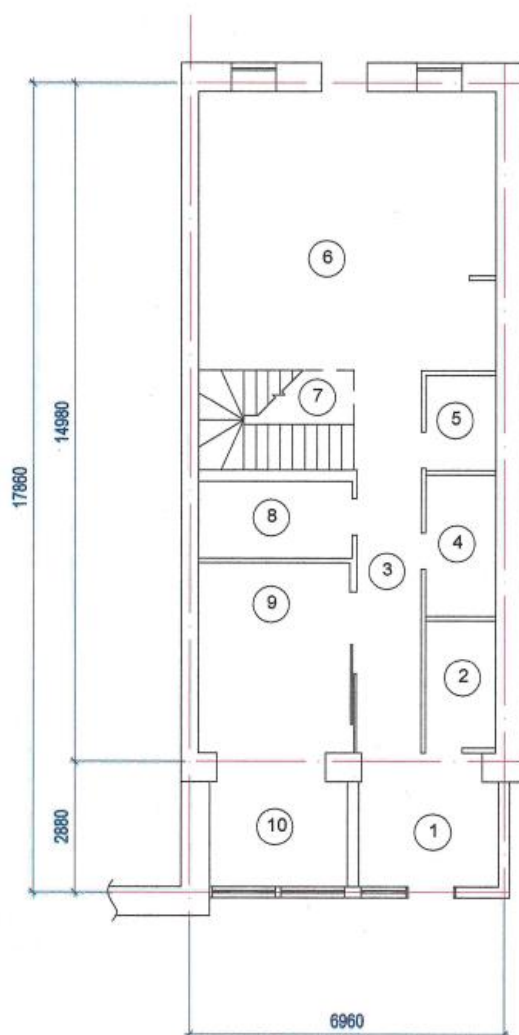


Рисунок 4 – схема первого этажа дома.

Второй этаж

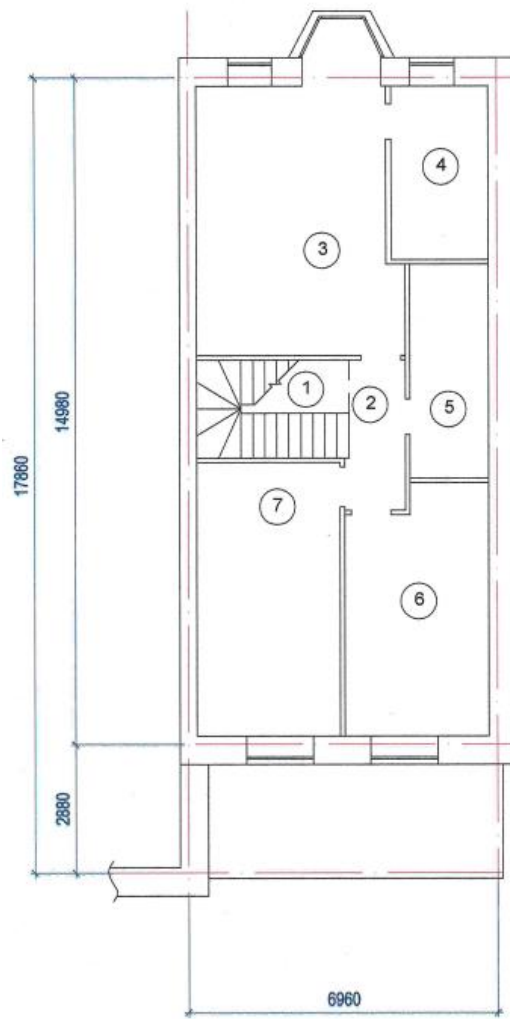


Рисунок 5 – схема второго этажа дома.

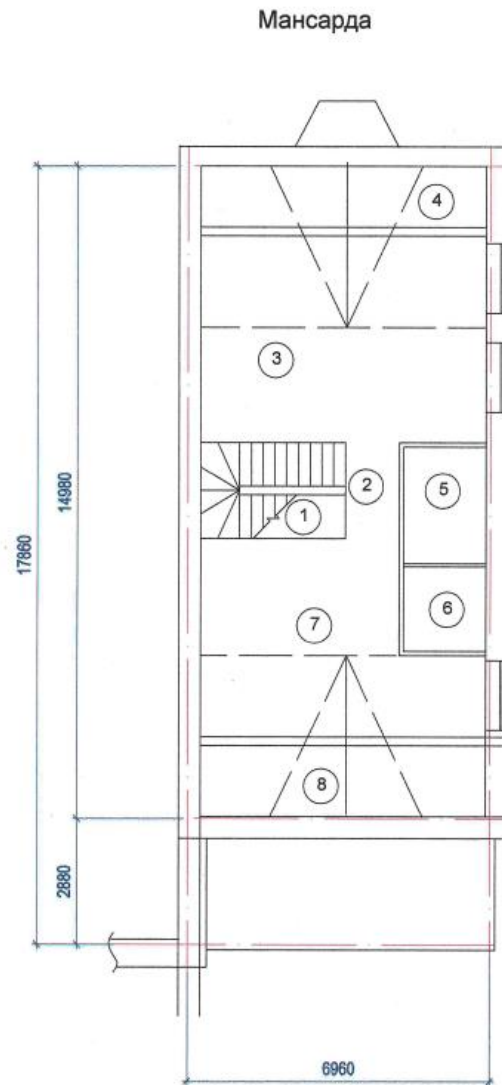


Рисунок 6 – схема мансарды дома.

2.2 Расчет теплотерьерь ограждающих конструкций

2.2.1 Расчет ГСОП.

Минимальное значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции определяется через градус-сутки отопительного периода (ГСОП) по следующей формуле [2]:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \quad (1.1)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчётная температура воздуха в помещении, °С;

$t_{от}$ – средняя за отопительный период температура, °С;

$z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Для п. Удачный Красноярского края характерны следующие значения (СП 131.13330.2018 [1]):

$$t_{от} = -6,5 \text{ °С}$$

$$z_{от} = 234$$

$$t_{в} = 23 \text{ °С}$$

$$ГСОП = (23 - (-6,5)) \cdot 235 = 6932,5 \text{ (°С} \cdot \text{сут.)}.$$

Расчёт ГСОП для всех помещений показан в таблице 1:

Таблица 1- Расчет ГСОП

Помещение	Оптимальная температура воздуха $t_{опт}$, °С	ГСОП
Первый этаж		
Тамбур	18	5757,5
Гардероб	18	5757,5
Коридор	18	5757,5
Котельная	18	5757,5
Сан узел	20	6227,5
Гостиная	23	6932,5
Лестница	18	5757,5
Гардероб	18	5757,5
Кухня столовая	21	6462,5
Столовая	21	6462,5
Второй этаж		
Лестница	18	5757,5
Коридор	18	5757,5
Спальня	23	6932,5
Гардероб	18	5757,5
Сан узел	20	6227,5
Спальня	23	6932,5
Спальня	23	6932,5
Мансарда		

Помещение	Оптимальная температура воздуха $t_{\text{опт}}$, °С	ГСОП
Лестница	18	5757,5
Коридор	18	5757,5
Холл	18	5757,5
Кладовка хол.	18	5757,5
Сан узел	20	6227,5
Сауна	25	7402,5
Игровая комната	22	6697,5
Кладовка хол.	18	5757,5
Лестница	18	5757,5
Коридор	18	5757,5
Холл	18	5757,5
Кладовка хол.	18	5757,5

Оптимальная температура воздуха в помещении принята по таблице 5.27 СанПиН 1.2.3685-21 [3].

2.2.2 Расчет теплозащитных свойств наружных стен

Загородный дом имеет следующую конструкцию наружных стен:

- Цементно-песчаный раствор толщиной $\delta_1=0,06$ м, $\lambda_1 = 0,76 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}} \right)$;
- Кирпичная кладка из сплошного кирпича глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе $\delta_2=0,35$ м, $\lambda_2 = 0,7 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}} \right)$;
- Плиты минераловатные из каменного волокна $\delta_3= x$ м, $\lambda_3 = 0,045 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}} \right)$;
- Кирпичная кладка из сплошного кирпича глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе $\delta_4=0,15$ м, $\lambda_4 = 0,7 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}} \right)$.

Коэффициенты теплопроводности материалов находим по приложению по приложению Т табл. 1 СП 50.13330.2012 [2].

По градус-суткам отопительного периода ГСОП = 6932,5 °С·сут., определяем требуемое значение термического сопротивления стены по следующей формуле:

$$R_{\text{rec}} = \text{ГСОП} \cdot a + b, \quad (1.2)$$

где a , b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 4 (СНиП 23-02-2003 [2]). Принимаем $a = 0,00035$; $b = 1,4$.

$$R_{\text{req}} = 6932,5 \cdot 0,00035 + 1,4 = 3,826 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right);$$

Требуемое термическое сопротивление теплопередаче можно определить по следующей формуле [2]:

$$R_{\text{req}} = \frac{1}{a_{\text{в}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{a_{\text{н}}}, \quad (1.3)$$

где $a_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения для условий холодного периода.

Принимаем по таблице 6 СП 50.13330.2012 [2].

$$a_{\text{н}} = 23 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right),$$

$a_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right)$. принимаемый по таблице 4 (СП 50.13330.2012 [2]).

$$a_{\text{в}} = 8,7 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right).$$

$$R_{\text{req}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,6}{0,76} + \frac{0,35}{0,7} + \frac{\delta_3}{0,045} + \frac{0,15}{0,7} + \frac{1}{23} = 3,826.$$

Откуда $\delta_3 = 0,097$ м.

Принимаем ближайшую к этому значению толщину листа плиты минераловатной из каменного волокна по сортаменту, толщина используемого утеплителя составит 0,1 м (ГОСТ 9573 – 2012 [4]).

По формуле 1.3 находим фактическое термическое сопротивление наружной стены:

$$R_{\text{req}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,6}{0,76} + \frac{0,35}{0,7} + \frac{0,1}{0,045} + \frac{0,15}{0,7} + \frac{1}{23} = 3,884 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right).$$

Коэффициент теплопередачи через наружные стены определим по формуле [2]:

$$k_{ст} = \frac{1}{R_{req}}; \quad (1.4)$$

$$k_{ст} = \frac{1}{3,884} = 0,258 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right).$$

2.2.3 Расчет теплозащитных свойств оконных проёмов

По градус-суткам отопительного периода ГСОП = 6932,5 °С·сут., определяем требуемое значение сопротивления теплопередаче оконных проёмов по формуле 1.2. Принимаем $a = 0,00005$; $b = 0,2$ (таблица 3 СП 50.13330.2012 [2]).

$$R_{req} = 6932,5 \cdot 0,00005 + 0,2 = 0,547 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right).$$

Выбираем конструкцию окна с сопротивлением теплопередаче большим или равным требуемого.

Принимаем по приложению К табл. К.1 СП 50.13330.2012 [2] следующий тип заполнения светового проема: однокамерный стеклопакет с одним стеклом с низкоэмиссионным мягким покрытием с заполнением воздухом.

$$R_{req} = 0,590 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right).$$

Коэффициент теплопередачи через световые проемы определим по формуле:

$$k_{о.п} = \frac{1}{R_{req}}; \quad (1.5)$$

$$k_{о.п} = \frac{1}{0,59} = 1,695 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right).$$

2.2.4 Расчёт теплозащитных свойств дверных проёмов

Приведенное сопротивление теплопередаче R_{req} , $\left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right)$ входных дверей должно быть не менее произведения $0,6 \cdot R_{rec}$, где R_{rec} - приведенное сопротивление теплопередаче дверных проёмов, определяемое по следующей формуле СП 50.13330.2012 [2]:

$$R_{rec} = \frac{n \cdot (t_B - t_H)}{\Delta t_H \cdot a_B}, \quad (1.6)$$

где n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения ограждения по отношению к наружному воздуху, для наружных стен и бесчердачных перекрытий по данным таблицы 6 СНиП 23-03-2003 принимаем $n=1$ [2];

Δt_n – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, по данным таблицы 5 СП 50.13330.2012 [2] принимаем $\Delta t_n = 4$ °С;

t_n – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

$$R_{req} = \frac{1 \cdot (23 - (-37))}{4 \cdot 8,7} = 1,724 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Приведенное сопротивление теплопередаче R_{req} , $\left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right)$ входных дверей равно:

$$R_{req} = 1,724 \cdot 0,6 = 1,034 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Коэффициент теплопередачи через дверные проемы определим по следующей формуле:

$$k_d = \frac{1}{R_{req}}; \tag{1.7}$$

$$k_d = \frac{1}{1,034} = 0,967 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \right).$$

2.2.5 Расчет теплозащитных свойств бесчердачного перекрытия

Перекрытие загородного дома состоит из:

- многослойная железобетонная плита $\delta_1=0,20$ м, $\lambda_1 = 1,92 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \right)$;
- плиты из пенополистирола $\delta_2=x$ м, $\lambda_2 = 0,052 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \right)$;
- раствор цементно-песчаный, $\delta_3=0,03$ м, $\lambda_3 = 0,76 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \right)$;

Коэффициенты теплопроводности материалов находим по приложению Т табл. 1 СП 50.13330.2012 [2].

По градус-суткам отопительного периода ГСОП = 6932,5 °С·сут., определяем требуемое значение сопротивления теплопередаче стены по формуле (1.2). Принимаем $a = 0,0005$; $b = 2,2$ по данным таблицы 4 СП 50.13330.2012 [2].

$$R_{rec} = 6932,5 \cdot 0,0005 + 2,2 = 5,666 \left(\frac{\text{М}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Требуемое термическое сопротивление теплопередаче по формуле (1.3) равно:

$$R_{req} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{\delta_2}{0,052} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{1}{23} = 5,666 \left(\frac{\text{М}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Откуда $\delta_3 = 0,279$ м.

Принимаем ближайшую к этому значению толщину листа пенополистирола по сортаменту (ГОСТ 15588-2014 [4]), толщина используемого утеплителя составит 0,3 м.

По формуле (1.3) находим фактическое термическое сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_{req} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,3}{0,052} + \frac{0,03}{0,76} + \frac{1}{23} = 6,071 \left(\frac{\text{М}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Коэффициент теплопередачи через перекрытие:

$$k_{п} = \frac{1}{6,071} = 0,165 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{°С}} \right).$$

2.2.6 Расчет теплозащитных свойств полов по грунту

Принимаем следующую конструкцию полов:

- многослойная железобетонная плита, $\delta_1=0,22$ м, $\lambda_1 = 1,92 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{°С}} \right)$;
- Раствор цементно-песчаный, $\delta_2=0,02$ м, $\lambda_2 = 0,76 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{°С}} \right)$;
- плиты из пенополистирола, $\lambda_3 = x$ м, $\lambda_3 = 0,052 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{°С}} \right)$;
- рубероид, $\delta_4=0,004$ м, $\lambda_4 = 0,17 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{М}^2 \cdot \text{°С}} \right)$;

Коэффициенты теплопроводности материалов находим по приложению Т табл. 1 СП 50.13330.2012 [2].

По градус-суткам отопительного периода ГСОП = 6932,5 °С·сут., определяем требуемое значение сопротивления теплопередаче стены по формуле (1.2). Принимаем $a = 0,00045$; $b = 1,9$ по данным таблицы 4 СП 50.13330.2012 [2].

$$R_{req} = 6932,5 \cdot 0,00045 + 1,9 = 5,02 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Требуемое термическое сопротивление теплопередаче по формуле (1.3) равно:

$$R_{req} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{\delta_3}{0,052} + \frac{0,004}{0,17} + \frac{1}{23} = 5,02 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Откуда $\delta_3 = 0,244$ м

Принимаем ближайшую к этому значению толщину листа полистерола по сортаменту (ГОСТ 15588-2014 [4]), толщина используемого утеплителя составит 0,25 м.

По формуле (1.3) находим фактическое термическое сопротивление теплопередаче наружной стены:

$$R_{req} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,25}{0,052} + \frac{0,004}{0,17} + \frac{1}{23} = 5,131 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right).$$

Коэффициент теплопередачи через пол определим по формуле (1.4):

$$k_{п} = \frac{1}{5,131} = 0,195 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \right).$$

Все данные по расчёту теплозащитных свойств наружных ограждений сведём в таблицу 2.

Таблица 2 - Теплозащитные свойства наружных ограждений

Ограждение	$R \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right)$	$K \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \right)$
Ограждение	$R \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}} \right)$	$K \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \right)$
Наружная стена	3,884	0,258
Оконные проемы	0,590	1,695
Дверные проемы	1,034	0,967

Ограждение	$R \left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт} \right)$	$K \left(\frac{Вт}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$
Бесчердачное перекрытие	6,071	0,165
Полы по грунту	5,131	0,195

2.3 Расчёт мощности системы отопления

2.3.1 Расчёт тепловых потерь помещений

Тепловые потери помещения через ограждающие конструкции определяют по формуле:

$$Q_{ок} = F_{огр.кон.} \cdot K \cdot (t_{опт.} - t_x), \quad (1.8)$$

где $F_{огр.кон.}$ – площадь ограждающей конструкции (наружные стены, оконные проемы, дверные проемы, полы) (m^2);

K – коэффициент теплопередачи ограждений (таблица 2) $\left(\frac{Вт}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$;

$t_{опт.}$ – оптимальная температура воздуха в помещении $^\circ C$;

t_x – температура воздуха самой холодной пятилетки обеспеченностью 0,92 $^\circ C$.

Таблица 3 - тепловые потери помещения через ограждающие конструкции

Перекрытие	F перекрытия, m^2	Q, Вт	Q ок, Вт
Первый этаж			
Тамбур			
Наружные стены	11,84	168,0096	713,00735
Оконные проемы	3	279,675	
Дверные проемы	3,2	170,192	
Бесчердачное перекрытие	8,87	0	
Пол	8,87	95,13075	
Гардероб			
Наружные стены	9,6	136,224	

Перекрытие	F перекрытия, м ²	Q, Вт	Q ок, Вт
Оконные проемы	0	0	301,9049
Дверные проемы	2,24	119,1344	
Бесчердачное перекрытие	4,34	0	
Пол	4,34	46,5465	
Коридор			
Наружные стены	0	0	133,2045
Дверные проемы	0	0	
Оконные проемы	0	0	
Бесчердачное перекрытие	12,42	0	
Пол	12,42	133,2045	
Котельная			
Наружные стены	9,6	136,224	307,2674
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	2,24	119,1344	
Бесчердачное перекрытие	4,84	0	
Пол	4,84	51,909	
Сан узел			
Наружные стены	6,4	94,1184	253,81986
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	2,24	123,46656	
Бесчердачное перекрытие	3,26	0	
Пол	3,26	36,2349	
Гостиная			
Наружные стены	53,12	822,2976	2092,0116
Оконные проемы	6	610,2	
Дверные проемы	3,2	185,664	
Бесчердачное перекрытие	40,5	0	
Пол	40,5	473,85	

Перекрытие	F перекрытия, м ²	Q, Вт	Q ок, Вт
Лестница			
Наружные стены	7,04	99,8976	180,87135
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	0	0	
Бесчердачное перекрытие	7,55	0	
Пол	7,55	80,97375	
Гардероб			
Наружные стены	5,44	77,1936	258,3185
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	2,24	119,1344	
Бесчердачное перекрытие	7,55	0	
Пол	7,55	61,9905	
Кухня – столовая			
Наружные стены	13,76	205,90464	544,51154
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	3,2	179,4752	
Бесчердачное перекрытие	14,07	0	
Пол	14,07	159,1317	
Столовая			
Наружные стены	8,64	129,28896	815,96256
Оконные проемы	6	589,86	
Дверные проемы	0	0	
Бесчердачное перекрытие	8,56	0	
Пол	8,56	96,8136	
Второй этаж			
Лестница			
Наружные стены	7,04	99,8976	
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	0	0	

Перекрытие	F перекрытия, м ²	Q, Вт	Q ок, Вт
Бесчердачное перекрытие	7,55	0	99,8976
Пол	7,55	0	
Коридор			
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	0	0	
Бесчердачное перекрытие	4,6	0	0
Пол	4,6	0	
Спальня			
Наружные стены	25,6	396,288	831,3528
Оконные проемы	3	305,1	
Дверные проемы	2,24	129,9648	
Бесчердачное перекрытие	29,11	0	
Пол	29,11	0	
Гардероб			
Наружные стены	17,6	249,744	648,5534
Оконные проемы	3	279,675	
Дверные проемы	2,24	119,1344	
Бесчердачное перекрытие	8,5	0	
Пол	8,5	0	
Сан узел			
Наружные стены	15,04	221,17824	344,6448
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	2,24	123,46656	
Бесчердачное перекрытие	8,51	0	
Пол	8,51	0	
Спальня			
Наружные стены	15,04	221,17824	

Перекрытие	F перекрытия, м ²	Q, Вт	Q ок, Вт
Оконные проемы	3	305,1	527,9448
Дверные проемы	2,24	129,9648	
Бесчердачное перекрытие	17,43	0	
Пол	17,43	0	
Спальня			
Наружные стены	20,16	312,0768	
Перекрытие	F перекрытия, м ²	Q, Вт	Q ок, Вт
Оконные проемы	3	305,1	747,1416
Дверные проемы	2,24	129,9648	
Бесчердачное перекрытие	19,86	0	
Пол	19,86	0	
Мансарда			
Лестница			
Наружные стены	7,04	99,8976	240,3786
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	0	0	
Бесчердачное перекрытие	15,48	140,481	
Пол	7,3	0	
Коридор			
Наружные стены	0	0	193,161375
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	0	0	
Бесчердачное перекрытие	21,285	193,161375	
Пол	2,75	0	
Холл			
Наружные стены	8,85	125,5815	1615,31865
Оконные проемы	11,61	1082,34225	
Дверные проемы	0	0	

Перекрытие	F перекрытия, м ²	Q, Вт	Q ок, Вт
Бесчердачное перекрытие	44,892	407,3949	
Пол	31,09	0	
Кладовка хол.			
Наружные стены	21,366	303,18354	513,90504
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	0	0	
Бесч. перекрытие	23,22	210,7215	
Пол	9,18	0	
Сан узел			
Наружные стены	4,05	59,5593	388,39059
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	2,4	132,2856	
Бесчердачное перекрытие	20,898	196,54569	
Пол	5,07	0	
Сауна			
Наружные стены	3	47,988	206,3484
Оконные проемы	0	0	
Дверные проемы	0	0	
Бесчердачное перекрытие	15,48	158,3604	
Пол	3,66	0	
Игровая комната			
Наружные стены	6,75	102,7485	852,81255
Оконные проемы	5,805	580,529025	
Дверные проемы	0	0	
Бесчердачное перекрытие	17,415	169,535025	
Пол	24,56	0	
Кладовка хол.			
Наружные стены	21,366	303,18354	
Оконные проемы	0	0	

Перекрытие	F перекрытия, м ²	Q, Вт	Q ок, Вт
Дверные проемы	0	0	513,90504
Бесчердачное перекрытие	23,22	210,7215	
Пол	10,69	0	

Общие теплопотери через ограждающие конструкции составляют 13324,63481 Вт.

2.3.2 Расчет теплоты на нагрев инфильтрующего воздуха

Расход теплоты, на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L_{\text{н}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot K \quad [5], \quad (1.9)$$

где $L_{\text{н}}$ – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, удельный нормативный расход $3 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ на 1 м^2 помещения;

$$L_{\text{н}} = 3 \cdot A_{\text{п}}; \quad (1.10)$$

$A_{\text{п}}$ – площадь пола;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха в помещении, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ [6];

c – удельная теплоёмкость воздуха, равная $1 \frac{\text{кДж}}{(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})}$;

K – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами, 0,8 — для окон и балконных дверей с отдельными переплетами, 1,0 — для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов.

В данном случае $K = 1$.

Таблица 4 - расход теплоты, на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещениях

Номер помещения	Наименование помещения	$L_n, \frac{м^3}{ч}$	$\rho_v, \frac{кг}{м^3}$	$Q_{инф}, Вт$
Первый этаж				
1	Тамбур	26,61	1,213	497,08
2	Гардероб	13,02	1,213	243,22
3	Коридор	37,26	1,213	696,02
4	Котельная	14,52	1,213	271,24
5	Сан узел	9,78	1,2048	188,06
6	Гостиная	121,5	1,1926	2434,34
Номер помещения	Наименование помещения	$L_n, \frac{м^3}{ч}$	$\rho_v, \frac{кг}{м^3}$	$Q_{инф}, Вт$
7	Лестница	22,65	1,213	423,11
8	Гардероб	17,34	1,213	323,91
Номер помещения	Наименование помещения	$L_n, \frac{м^3}{ч}$	$\rho_v, \frac{кг}{м^3}$	$Q_{инф}, Вт$
9	Кухня столовая	42,21	1,2007	823,07
10	Столовая	25,68	1,2007	500,74
Второй этаж				
1	Лестница	22,65	1,213	423,11
2	Коридор	13,8	1,213	257,79
3	Спальня	87,33	1,1926	1749,72
4	Гардероб	25,5	1,213	476,35
5	Сан узел	25,53	1,2048	490,91
6	Спальня	52,29	1,1926	1047,67
7	Спальня	59,58	1,1926	1193,73
Мансарда				
1	Лестница	21,9	1,213	409,10
2	Коридор	8,25	1,213	154,11
3	Холл	93,27	1,213	1742,30
4	Кладовка хол.	27,54	1,213	514,45

Номер помещения	Наименование помещения	$L_n, \frac{м^3}{ч}$	$\rho_v, \frac{кг}{м^3}$	$Q_{инф}, Вт$
5	Сан узел	15,21	1,2048	292,47
6	Сауна	10,98	1,1846	225,80
7	Игровая комната	73,68	1,1966	1456,49
8	Кладовка хол.	32,07	1,213	599,07

Общие теплопотери на инфильтрацию помещений составляют 17433,83 Вт.

2.3.3 Теплопоступления от солнечной радиации через световые проемы

$$Q_{рад} = \tau_{ок} \kappa_{ок} \sum_{j=1}^n Q_{верт,j,i} A_{ок,j} + \tau_{фон} \kappa_{фон} Q_{гор,i} A_{фон,i} [7], \quad (1.12)$$

где $\tau_{ок}, \tau_{фон}$ – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема соответственно окон и зенитных фонарей непрозрачными элементами заполнения, принимаемые по проектным данным;

$\kappa_{ок}, \kappa_{фон}$ – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации соответственно для светопропускающих заполнений окон и зенитных фонарей, принимаемые по сертификационным данным соответствующих светопропускающих изделий;

$A_{ок,j}$ – площадь световых проемов j-го фасада здания, $м^2$;

n – число фасадов здания;

$A_{фон}$ – площадь световых проемов зенитных фонарей здания, $м^2$;

$Q_{гор}$ – суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация при действительных условиях облачности на горизонтальную поверхность в период испытаний за интервал времени Δz , $кВт \cdot \frac{ч}{м^2}$, измеряемая согласно действующим нормативным документам;

$Q_{верт,j,i}$ – суммарная (прямая, рассеянная и отраженная) солнечная радиация при действительных условиях облачности на вертикальную

поверхность соответствующей j -й ориентации в i -й период испытаний, кВт · $\frac{\text{ч}}{\text{м}^2}$, рассчитываемая по формуле:

$$Q_{\text{верт},j,i} = Q_{\text{гор},i} \cdot k + R_{\text{верт},j,i} [7], \quad (1.13)$$

где k – коэффициент пересчета суммарной солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную, принимаемый по таблице В.1 ГОСТ 31168-2014;

$R_{\text{верт},j,i}$ – отраженная солнечная радиация при действительных условиях облачности на вертикальную поверхность j -й ориентации в i -й период испытаний, кВт · $\frac{\text{ч}}{\text{м}^2}$;

$$R_{\text{верт},j,i} = 0,5 \cdot R_{\text{гор},i} [7]; \quad (1.14)$$

$$R_{\text{гор},i} = 0,5 \cdot \frac{Q_{\text{гор},i} \alpha}{100} [7]; \quad (1.15)$$

α – альbedo подстилающей поверхности, %.

Таблица 5 - теплоступления от солнечной радиации через световые проемы

Номер помещения	Наименование помещения	$Q_{\text{рад}}$, Вт
Первый этаж		
1	Тамбур	69,43
2	Гардероб	0,00
3	Коридор	0,00
4	Котельная	0,00
5	Сан узел	0,00
6	Гостиная	101,57
7	Лестница	0,00
8	Гардероб	0,00
9	Кухня столовая	0,00
10	Столовая	202,23
Второй этаж		
1	Лестница	0,00
2	Коридор	0,00
3	Спальня	69,43
4	Гардероб	69,43

Номер помещения	Наименование помещения	$Q_{\text{рад}}, \text{Вт}$
5	Сан узел	0,00
6	Спальня	119,75
7	Спальня	119,75
Мансарда		
1	Лестница	0,00
2	Коридор	0,00
3	Холл	291,56
4	Кладовка хол.	0,00
5	Сан узел	0,00
6	Сауна	0,00
7	Игровая комната	164,42
8	Кладовка хол.	0,00

Общие тепlopоступления от солнечной радиации через световые проемы составляют 1207,56 Вт.

2.3.4 Бытовые тепlopоступления

Величину бытовых тепlopоступлений здания $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ определяют по формуле [2]:

$$Q_{\text{быт}} = q_{\text{быт}} \cdot A_{\text{ж}}, \quad (1.16)$$

где $q_{\text{быт}}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений, принимаемая для жилых зданий - в зависимости от расчетной заселенности квартир по интерполяции величины $q_{\text{быт}}$ между 17 и 10 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

$A_{\text{ж}}$ – площадь жилого помещения, м².

Таблица 5 - бытовые тепlopоступления

Номер помещения	Наименование помещения	$Q_{\text{быт}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$
Первый этаж		
1	Тамбур	0
2	Гардероб	0
3	Коридор	0

Номер помещения	Наименование помещения	$Q_{\text{быт}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$
4	Котельная	0
5	Сан узел	39,12
6	Гостиная	405
7	Лестница	0
8	Гардероб	0
9	Кухня столовая	218,085
10	Столовая	102,72
Второй этаж		
1	Лестница	0
2	Коридор	0
3	Спальня	291,1
4	Гардероб	0
5	Сан узел	102,12
6	Спальня	174,3
7	Спальня	198,6
Мансарда		
1	Лестница	0
2	Коридор	0
3	Холл	0
4	Кладовка хол.	0
5	Сан узел	60,84
6	Сауна	62,22
7	Игровая комната	270,16
8	Кладовка хол.	0

Общие бытовые теплопоступления составляют 1924,265 Вт.

2.3.5 Тепловой баланс помещений загородного дома

Тепловой баланс помещений рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{бал}} = Q_{\text{ок}} + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{рад}} - Q_{\text{быт}}. \quad (1.17)$$

Таблица 6 - тепловой баланс помещений

Номер помещения	Наименование помещения	$Q_{ок}$, Вт	$Q_{инф}$, Вт	$Q_{рад}$, Вт	$Q_{быт}$, Вт	$Q_{бал}$, Вт
1	Тамбур	713,01	497,08	69,43	0	1140,66
2	Гардероб	301,90	243,22	0,00	0	545,12
3	Коридор	133,20	696,02	0,00	0	829,23
4	Котельная	307,27	271,24	0,00	0	578,50
5	Сан узел	253,82	188,06	0,00	39,12	402,76
6	Гостиная	2092,01	2434,34	101,57	405	4019,77
7	Лестница	180,87	423,11	0,00	0	603,98
8	Гардероб	258,32	323,91	0,00	0	582,23
9	Кухня столовая	544,51	823,07	0,00	218,085	1149,49
10	Столовая	815,96	500,74	202,23	102,72	1011,76
Второй этаж						
1	Лестница	99,90	423,11	0,00	0	523,00
2	Коридор	0,00	257,79	0,00	0	257,79
3	Спальня	831,35	1749,72	69,43	291,1	2220,54
4	Гардероб	648,55	476,35	69,43	0	1055,47
5	Сан узел	344,64	490,91	0,00	102,12	733,43
6	Спальня	527,94	1047,67	119,75	174,3	1281,56
7	Спальня	747,14	1193,73	119,75	198,6	1622,51
Мансарда						
1	Лестница	240,38	409,10	0,00	0	649,47
2	Коридор	193,16	154,11	0,00	0	347,27
3	Холл	1615,32	1742,30	291,56	0	3066,06
4	Кладовка хол.	513,91	514,45	0,00	0	1028,36
5	Сан узел	388,39	292,47	0,00	60,84	620,02
6	Сауна	206,35	225,80	0,00	62,22	369,93
7	Игровая комната	852,81	1456,49	164,42	270,16	1874,73
8	Кладовка хол.	513,91	599,07	0,00	0	1112,98
Итого		13324,63	17433,83	1207,56	1924,265	27626,64

2.4 Подбор отопительного оборудования

По проекту в исследуемом загородном доме на первом этаже установлен теплый пол, на втором этаже и мансарде установлены радиаторы.

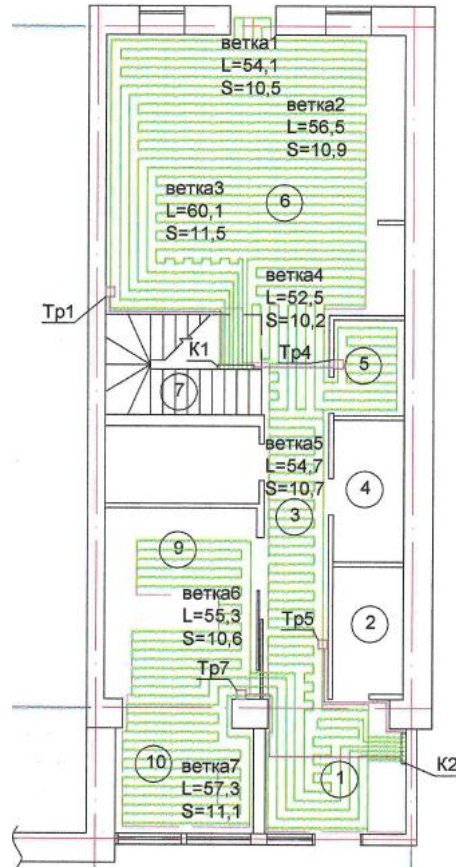


Рисунок 7 – схема размещения теплого пола на первом этаже дома.

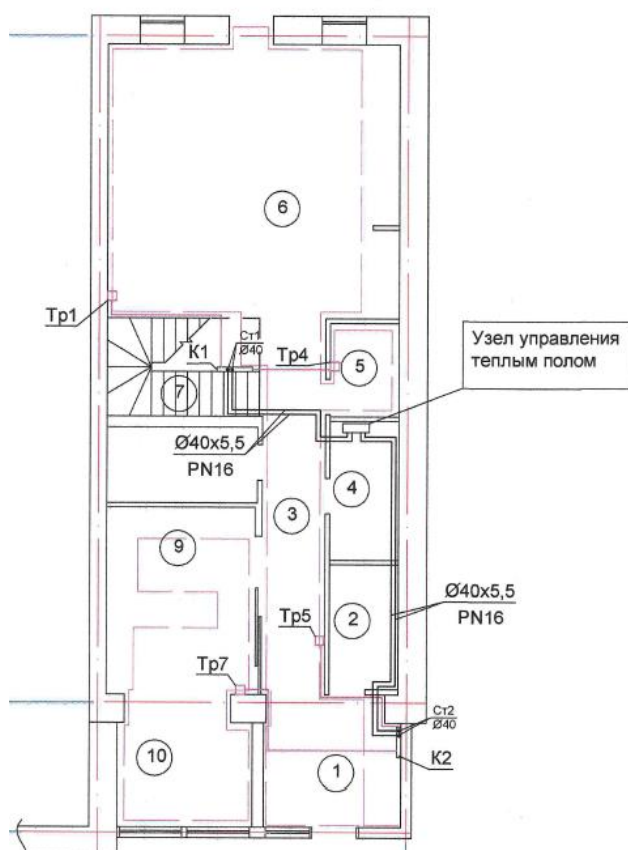


Рисунок 8 – схема размещения труб и узла управления теплого пола на первом этаже дома.

Таблица 7 – данные по теплым полам

№ ветки	Наименование помещения	Площадь, м ²	Мощность, кВт	Длина, м	Шаг, мм	Д _у , мм
1	Гостиная	10,5	1,05	54,1	200	11,4
2	Гостиная	10,9	1,09	56,5	200	11,4
3	Гостиная	11,5	1,15	60,1	200	11,4
4	Коридор, сан узел	10,2	1,02	52,5	200	11,4
5	Коридор	10,7	1,07	54,7	200	11,4
6	Кухня-Столовая	10,6	1,06	55,3	200	11,4
7	Столовая	11,0	1,10	57,3	200	11,4

Параметры теплоносителя в системе отопления пола 50-30°, для нагрева пола в бетонную заливку пола укладываются пластиковые трубы Ø16x2,3 (Д_у11,4). В подложку пола укладывается утеплитель с коэффициентом

теплопроводности $0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$, алюминиевая фольга и стальная арматурная сетка. Трубы не должны касаться арматурной сетки. Минимальная толщина бетонной заливки составляет 50 мм. Трубы $\text{Ø}16 \times 2,3$ укладываются с шагом 200 мм.

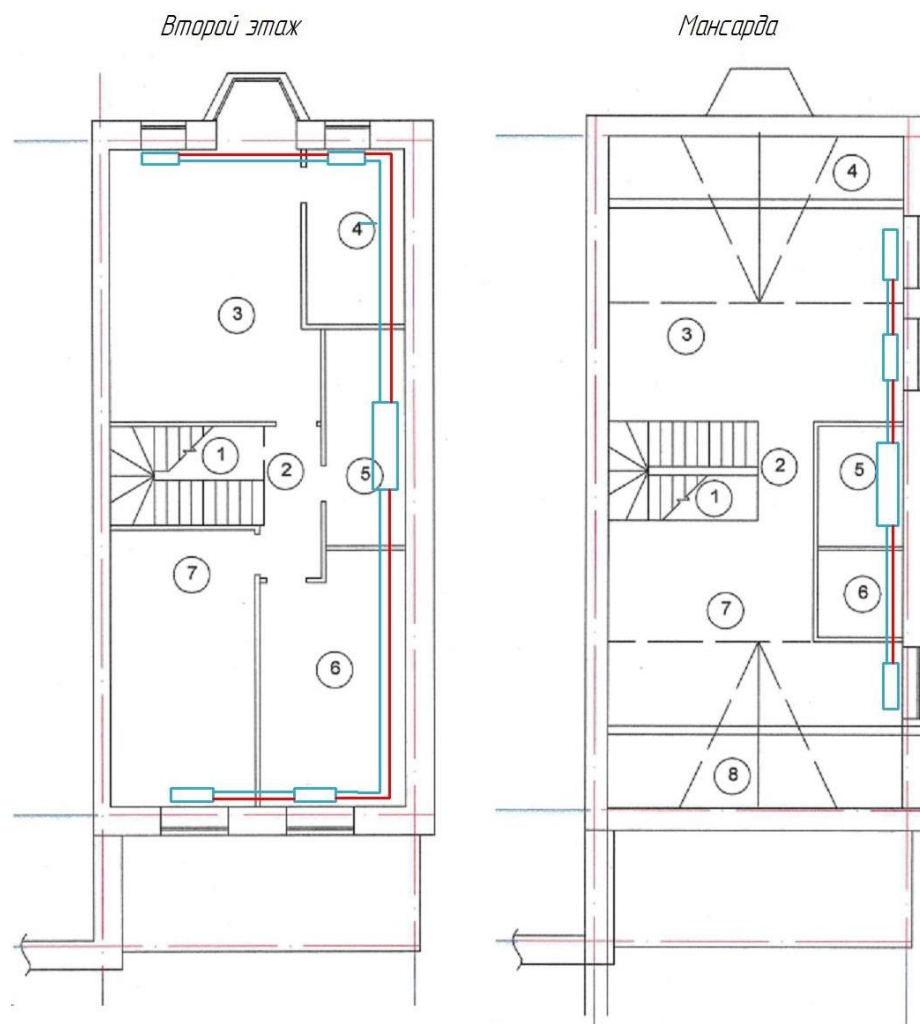


Рис. 9 – схема расположения отопительных приборов в помещениях первого этажа и мансарды.

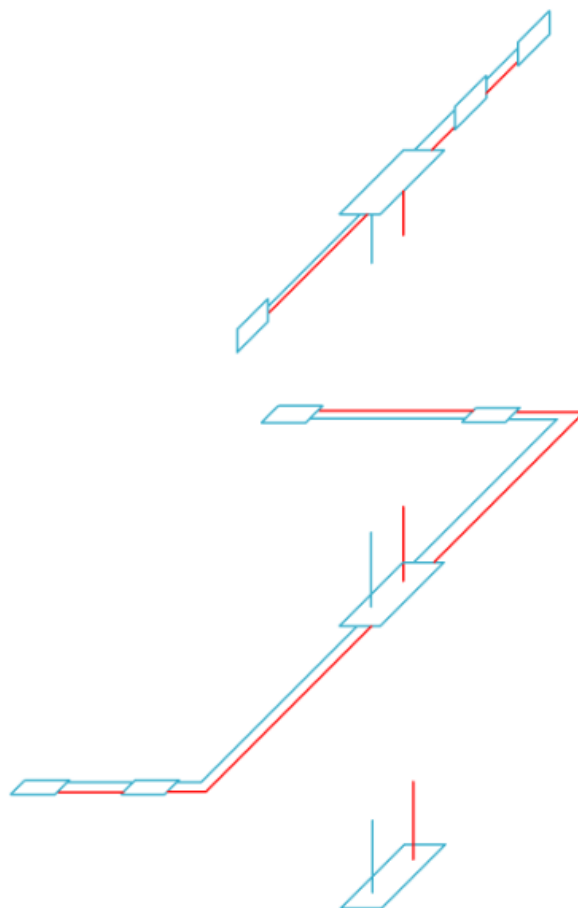


Рис. 10 – аксонометрия отопительных приборов в помещениях.

В качестве отопительных приборов применяются к установке биметаллические радиаторы SIRA-RS-500 с характеристиками представленными в таблице 8. Схема разводки отопительных приборов – лучевая.

Таблица 8 – характеристика радиатора SIRA-RS-500

Параметр	Значение
Ширина секции, мм	80
Высота, мм	572
Глубина, мм	87
Объём воды, л	0,199
Количество секций, шт	1-30



Рисунок 10 – внешний вид радиатора SIRA-RS-500.

Расчёт системы отопления производился в программе Danfoss C.O. Схема развёртки плана здания вместе с системой отопления представлена на рисунке 11.

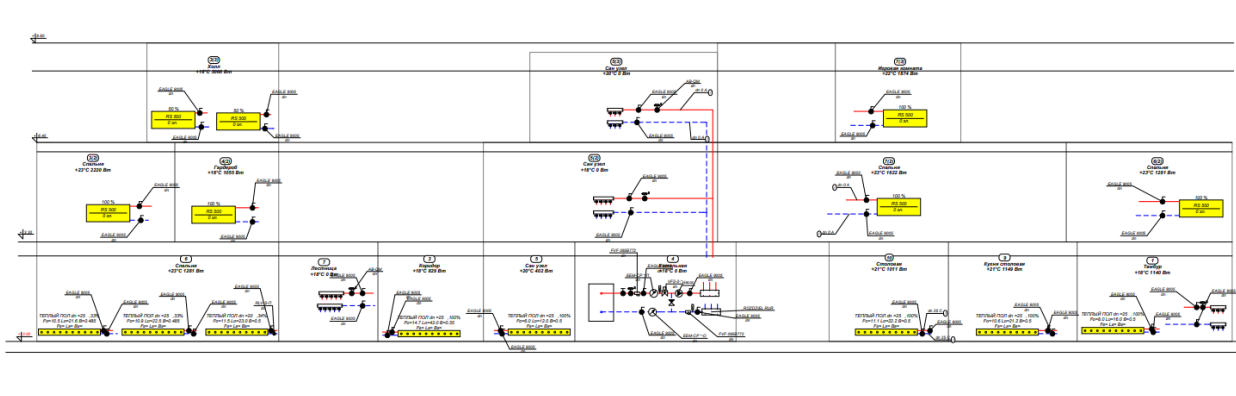


Рисунок 11 – схема развёртки здания.

Результаты расчётов, выполненных в программе Danfoss C.O., представлены в таблице 9.

Таблица 9 – результаты расчётов, выполненных в программе Danfoss C.O

№	Наименование помещения	Температура внутри помещения, °С	Расход теплоносителя через отопительный прибор, Вт	Кол-во секций, шт	Тепловые потери помещения, Вт	Тепловой поток радиатора, Вт
Первый этаж						
1	Тамбур	18	0.03631	-	1140	1140
2	Кухня-столовая	21	0.03631	-	1149	1149

№	Наименование помещения	Температура внутри помещения, °С	Расход теплоносителя через отопительный прибор, Вт	Кол-во секций, шт	Тепловые потери помещения, Вт	Тепловой поток радиатора, Вт
3	Столовая	21	0.03631	-	1011	1017
4	Сан узел	20	0.00660	-	402	515
5	Коридор	18	0.01358	-	829	1579
6	Спальня	23	0.00717	-	1281	763
			0.00696			768
			0.00696			749
Второй этаж						
	Спальня	23	0.01553	20	1281	1282
	Спальня	23	0.01923	26	1622	1625
	Гардероб	18	0.01307	13	1055	1056
	Спальня	23	0.04003	30	2220	2215
Мансарда						
	Игровая комната	22	0.02171	29	1874	2000
	Холл	18	0.01941	19	3066	1530
			0.01776	20		1650

2.5 Гидравлический расчет

Гидравлический расчёт проводится в программе Danfoss C.O. Результаты расчётов представлены ниже.

Тип уча	Тип тру	Номер		L	dn	Q	G	w	R	Dzeta	dP
		Стойак	Участ.	[м]	[мм]	[Вт]	[кг/с]	[м/с]	[Па/м]		[Па]
		Стойак Цирк. кольцо подпол. отоп.приб: в помещении:								10	
		dPцк = 18202 Па		dPгр = -56 Па		dH = -0.95 м		Lцк = 11.3 м			
П	A			1.90	32	16930	0.144	0.140	12.1	4819.7	47124
				VFS-2-1.0 dn 15 мм авт.= 0.49 Kv= 1.000 м3/ч							
				AB-QM PLUS настройка 60% dn 20 мм							
				Q = 0.532 м3/ч Kv = 1.331 м3/ч							
				EEM-CP 0.6-П Qn = 0.600 м3/ч dn 15 мм							
				Q = 0.532 м3/ч Kv = 3.795 м3/ч							
П	A			0.55	32	16930	0.281	0.271	44.6	0.2	32
П	A			0.35	20	3300	0.093	0.254	80.1	2.1	95
П	A			1.65	20	3300	0.093	0.254	80.1	494.3	16139
				AB-QM PLUS настройка 78% dn 15 мм							
				Q = 0.342 м3/ч Kv = 0.855 м3/ч							
П	C			1.20	25	1011	0.020	0.081	6.7	7.1	31
				подпол. отоп. приб: ТЕПЛЫЙ ПОЛ							
О	C			0.75	25	1011	0.020	0.080	5.1	7.1	27
О	A			2.10	20	3300	0.093	0.254	80.4	0.2	176
О	A			0.25	20	3300	0.093	0.254	80.4	2.1	87
О	A			0.60	32	16930	0.281	0.269	45.0	7.4	296
О	A			1.90	32	16930	0.144	0.138	12.5	201.6	1930
				EEM-CP 0.6-О Qn = 0.600 м3/ч dn 15 мм							
				Q = 0.524 м3/ч Kv = 3.795 м3/ч							

Рисунок 12.1 – гидравлический расчёт помещения 10.

		Стойак Цирк. кольцо подпол. отоп.приб: в помещении:								9		
		dPцк = 18207 Па		dPгр = -52 Па		dH = -0.95 м		Lцк = 11.6 м				
				Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:								63390
П	C			1.35	25	1149	0.037	0.147	21.2	7.1	105	
				подпол. отоп. приб: ТЕПЛЫЙ ПОЛ								
О	C			0.90	25	1149	0.037	0.146	21.8	7.1	96	
				Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:								2489

Рисунок 12.2 – гидравлический расчёт помещения 9.

		Стойак Цирк. кольцо подпол. отоп.приб: в помещении:								1		
		dPцк = 18209 Па		dPгр = -49 Па		dH = -0.90 м		Lцк = 11.3 м				
				Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:								63390
П	C			1.20	25	1140	0.036	0.146	20.9	7.1	100	
				подпол. отоп. приб: ТЕПЛЫЙ ПОЛ								
О	C			0.75	25	1140	0.036	0.145	21.3	7.1	91	
				Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:								2489

Рисунок 12.3 – гидравлический расчёт помещения 1.

Стояк		Цирк. кольцо отоп. пр.:			в помещении						3(3)				
dPцк =		18640 Па		dPгр =		381 Па		dH =		5.88 м		Лцк =		24.0 м	
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:													47156		
П	A			0.35	25	11118	0.147	0.245	53.0	2.2	85				
П	A			2.70	25	11118	0.147	0.245	53.0	0.0	143				
П	A			2.85	20	4940	0.059	0.161	33.1	1.0	107				
П	A			2.90	20	4940	0.059	0.161	33.1	1227.7	15987				
				AB-QM		настройка 82%		dn 10 мм							
						Q = 0.216 м3/ч		Kv = 0.542 м3/ч							
П	A			0.70	15	1533	0.018	0.087	10.5	5.2	27				
				Отоп.пр.: RS 500		n = 20 эл.		l = 1.60 м							
О	A			0.70	15	1533	0.018	0.086	7.0	5.2	24				
О	A			2.70	20	4940	0.059	0.159	33.8	0.5	98				
О	A			2.90	20	4940	0.059	0.159	33.8	1.5	117				
О	A			2.95	25	11118	0.147	0.243	53.7	0.0	158				
О	A			0.25	25	11118	0.147	0.243	53.7	2.2	79				
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:													2226		

Рисунок 12.4 – гидравлический расчёт помещения 3(3).

Стояк		Цирк. кольцо отоп. пр.:			в помещении						3(3)				
dPцк =		18636 Па		dPгр =		377 Па		dH =		5.83 м		Лцк =		23.8 м	
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:													63478		
П	A			0.60	15	1533	0.019	0.095	14.9	5.2	32				
				Отоп.пр.: RS 500		n = 19 эл.		l = 1.52 м							
О	A			0.65	15	1533	0.019	0.094	8.2	5.2	28				
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:													2678		

Рисунок 12.5 – гидравлический расчёт помещения 3(3).

Стояк		Цирк. кольцо отоп. пр.:			в помещении						7(3)				
dPцк =		18643 Па		dPгр =		385 Па		dH =		5.93 м		Лцк =		25.2 м	
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:													63478		
П	A			1.30	15	1874	0.022	0.106	22.1	5.2	58				
				Отоп.пр.: RS 500		n = 29 эл.		l = 2.32 м							
О	A			1.35	15	1874	0.022	0.105	11.3	5.2	44				
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:													2678		

Рисунок 12.6 – гидравлический расчёт помещения 7(3).

Стояк		Цирк. кольцо отоп. пр.:			в помещении						3(2)				
dPцк =		18429 Па		dPгр =		171 Па		dH =		2.88 м		Лцк =		19.2 м	
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:													47384		
П	A			3.20	20	6178	0.088	0.240	71.6	556.8	16278				
				AB-QM		настройка 73%		dn 15 мм							
						Q = 0.323 м3/ч		Kv = 0.807 м3/ч							
П	A			0.95	15	2220	0.040	0.196	72.2	5.2	168				
				Отоп.пр.: RS 500		n = 30 эл.		l = 2.40 м							
О	A			0.85	15	2220	0.040	0.194	72.9	5.2	160				
О	A			3.00	20	6178	0.088	0.238	72.4	1.2	252				
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:													2463		

Рисунок 12.7 – гидравлический расчёт помещения 3(2).

Стояк		Цирк. кольцо отоп. пр.:				в помещении				7(2)		
dPцк =		18443 Па		dPгр =		185 Па		dH =		3.08 м	Lцк =	20.7 м
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:											63663	
П	A			1.35	15	1622	0.019	0.094	14.3	6.7	49	
				Отоп.пр.: RS 500				n = 26 эл.		l = 2.08 м		19
О	A			1.95	15	1622	0.019	0.093	7.9	6.7	44	
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:											2715	

Рисунок 12.8 – гидравлический расчёт помещения 7(2).

Стояк		Цирк. кольцо отоп. пр.:				в помещении				4(2)		
dPцк =		18426 Па		dPгр =		167 Па		dH =		2.83 м	Lцк =	19.5 м
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:											63663	
П	A			1.05	15	1055	0.013	0.064	3.7	6.7	18	
				Отоп.пр.: RS 500				n = 13 эл.		l = 1.04 м		9
О	A			1.05	15	1055	0.013	0.063	5.0	6.7	19	
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:											2715	

Рисунок 12.9 – гидравлический расчёт помещения 4(2).

Стояк		Цирк. кольцо отоп. пр.:				в помещении				6(2)		
dPцк =		18439 Па		dPгр =		181 Па		dH =		3.03 м	Lцк =	20.7 м
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:											63663	
П	A			1.60	15	1281	0.016	0.076	6.1	5.2	25	
				Отоп.пр.: RS 500				n = 20 эл.		l = 1.60 м		13
О	A			1.70	15	1281	0.016	0.075	6.0	5.2	25	
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:											2715	

Рисунок 12.10 – гидравлический расчёт помещения 6(2).

Стояк		Цирк. кольцо подпол. отоп.приб:				в помещении:....				6		
dPцк =		18168 Па		dPгр =		-91 Па		dH =		-0.95 м	Lцк =	11.0 м
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:											47156	
П	A			0.35	20	2512	0.041	0.113	16.8	2.1	19	
П	A			1.30	20	2512	0.041	0.113	16.8	2497.2	15907	
				AB-QM настройка 56% dn 10 мм								
				Q = 0.152 м3/ч Kv = 0.380 м3/ч								
П	C			1.60	25	423	0.007	0.028	1.2	7.1	5	
				подпол. отоп. приб: ТЕПЛЫЙ ПОЛ								33
О	C			1.45	25	423	0.007	0.028	1.8	7.1	5	
О	A			1.10	20	2512	0.041	0.111	15.0	0.2	18	
О	A			0.25	20	2512	0.041	0.111	15.0	2.1	17	
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:											2226	

Рисунок 12.11 – гидравлический расчёт помещения 6.

Стояк		Цирк. кольцо подпол. отоп.приб:				в помещении:....				6		
dPцк =		18166 Па		dPгр =		-92 Па		dH =		-0.95 м	Lцк =	10.9 м
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:											63083	
П	C			1.60	25	423	0.007	0.028	1.2	7.1	5	
				подпол. отоп. приб: ТЕПЛЫЙ ПОЛ								35
О	C			1.30	25	423	0.007	0.028	1.9	7.1	5	
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:											2261	

Рисунок 12.12 – гидравлический расчёт помещения 6.

Стояк		Цирк. кольцо				подпол. отоп.приб:		в помещении:....		6	
dP _{цк} =		18168 Па		dP _{гр} =		-90 Па		dH = -0.95 м		L _{цк} = 10.6 м	
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:										63083	
П	С			1.50	20	436	0.007	0.045	3.0	3.3	8
подпол. отоп. приб: ТЕПЛЫЙ ПОЛ										88	
О	С			1.20	20	436	0.007	0.044	4.6	1721.8	1702
RLV-S-П настройка 0.25 dn 15 мм											
Kv = 0.200 м ³ /ч											
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:										2261	

Рисунок 12.13 – гидравлический расчёт помещения 6.

Стояк		Цирк. кольцо				подпол. отоп.приб:		в помещении:....		3	
dP _{цк} =		18158 Па		dP _{гр} =		-100 Па		dH = -1.00 м		L _{цк} = 11.2 м	
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:										63083	
П	С			1.75	25	829	0.014	0.054	2.3	7.1	15
подпол. отоп. приб: ТЕПЛЫЙ ПОЛ										131	
О	С			1.45	25	829	0.014	0.054	3.7	7.1	16
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:										2261	

Рисунок 12.14 – гидравлический расчёт помещения 3.

Стояк		Цирк. кольцо				подпол. отоп.приб:		в помещении:....		5	
dP _{цк} =		18186 Па		dP _{гр} =		-73 Па		dH = -0.95 м		L _{цк} = 10.9 м	
Гидравлическое сопротивление совместных подающих участков:										63083	
П	С			1.65	25	402	0.007	0.026	1.1	7.1	4
подпол. отоп. приб: ТЕПЛЫЙ ПОЛ										17	
О	С			1.35	25	402	0.007	0.026	1.5	7.1	5
Гидравлическое сопротивление совместных обратных участков:										2261	

Рисунок 12.15 – гидравлический расчёт помещения 5.

dP_{цк} – Давление элемента, преобладающее в циркуляционном кольце;

dP_{гр} – Гравитационное давление, учитываемое в циркуляционном кольце;

dH – Разница высоты между центром потребителя тепла и центром источника тепла;

L_{цк} – Длина разводящих трубопроводов, из которых создано циркуляционное кольцо;

L – Длина участка;

dn – Номинальный диаметр участка;

Q – Тепловая нагрузка участка;

G – Расход воды, проходящий через участок;

w – Скорость расхода воды на участке;

R – Удельное, линейное падение давления на участке;

$Dzeta$ – Сумма коэффициентов местных сопротивлений арматуры, находящейся на участке;

dP – Гидравлическое сопротивление участка.

Номер		dP	G	H	V	T	Ro	dP H2O	H H2O
Стойка	Участ.	Па	кг/с	м	м3/ч	°C	кг/м3	Па	м
		18258	0.281	1.90	1.03	65.0	980	18258	1.90

Рисунок 12.16 – требуемые параметры работы насоса.

По нагрузке выбираем насос от компании Grundfos ALPHA1 L 25-40 180 ($G = 1,0116 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H = 1,90 \text{ м}$).

Таблица 10 – технические характеристики насоса ALPHA1 L 25-40 180.

Параметр	Значение
Наименование продукта	ALPHA1 L 25-40 180
Цена без НДС	UER 137
Текущий рассчитанный расход	1.012 м ³ /ч
Общий напор насоса	1.9 м
Максимальный напор	40 дм
Корпус насоса	Чугун
Диапазон температуры окружающей среды	0 .. 55 °C
Макс. рабочее давление	10 бар
Диапазон температур жидкости	2 .. 95 °C
Рабочая жидкость	Вода

Grundfos ALPHA1 L 25-40 180 представляет собой высокоэффективный циркуляционный насос, оснащенный электродвигателем на постоянных магнитах (технология ECM).

Насос предусматривает три режима управления; режим радиаторного отопления, режим отопления «теплый пол» и режим работы по постоянной кривой /с фиксированной частой вращения.

Частоту вращения можно регулировать слаботочным ШИМ-сигналом (широтно-импульсной модуляции).

Все компоненты насоса — керамический вал и радиальные подшипники, углеродный упорный подшипник, защитная гильза ротора, подшипниковая

пластина и корпус ротора из нержавеющей стали, рабочее колесо из композитного материала — обеспечивают долгий срок службы. Воздух из насоса удаляется автоматически, что упрощает пусконаладку и выбор режима управления.

Компактный дизайн головной части насоса со встроенным блоком управления и приборной панелью обеспечивает совместимость практически с любыми стандартными системами и котлами.

Насос и электродвигатель образуют цельный блок без уплотнения вала. Насос является насосом с «мокрым ротором», то есть подшипники смазываются перекачиваемой жидкостью. Такое решение не требует технического обслуживания.

Корпус насоса выполнен из чугуна с гальваническим покрытием для улучшения антикоррозионных свойств.

Используется синхронный электродвигатель с ротором на постоянных магнитах / компактным статором. Контроллер насоса расположен в блоке управления, который присоединен к корпусу статора и подключен к статору с помощью кабельного разъема. Характеристики насоса ALPHA1 L:

- Три постоянные скорости;
- Режим радиаторного отопления;
- Режим отопления «теплый пол»;
- Профиль ШИМ для применений в системах отопления (профиль А).

Сигнал ШИМ — это метод генерации аналогового сигнала при помощи цифрового источника;

- Энергоэффективность, соответствие директиве ErP;
- Деблокирующий винт с доступом из передней части шкафа управления;
- Надежная и эффективная работа даже в самых сложных условиях;
- Регулируемый и гибкий монтажный штекер, с двумя возможными

положениями кабельной муфты.

2.6 Определение тепловой мощности на отопление

Тепловая мощность здания - это количество тепловой энергии, которое необходимо для обогрева здания до определенной температуры в определенных погодных условиях. Она является важным параметром при проектировании и выборе систем отопления и вентиляции здания. Тепловая мощность здания зависит от многих факторов, в том числе от площади здания, его теплотехнических характеристик, климатических условий, количества и характера зданий или помещений, которые нужно отапливать.

Значение балансовой мощности системы отопления:

$$Q_{\text{бал}}^{\text{сут}} = \frac{3600 \cdot 24 \cdot Q_{\text{бал}}}{10^6}; \quad (1.18)$$
$$Q_{\text{бал}}^{\text{сут}} = \frac{3600 \cdot 24 \cdot Q_{\text{бал}}}{10^6} = \frac{3600 \cdot 24 \cdot 27626,64}{10^6} = 2386,94 \frac{\text{МДж}}{\text{день}}.$$

Определяем по данным, в какие месяца средняя температура в п. Удачный Красноярского края будет $\leq 8^\circ\text{C}$, то есть с января по апрель, а также с октября по декабрь. Для апреля определяем количество дней, в которых отопление будет производиться по зимней нагрузке.

$$n_4 = n_{\text{мес}} - 0,5(n_{\text{от.8}} - n_{\text{от.10}}), \quad (1.19)$$

где $n_{\text{от.8}}$ – количество отопительных суток при $\leq 8^\circ\text{C}$.

$n_{\text{от.10}}$ – количество отопительных суток при $\leq 10^\circ\text{C}$.

$$n = 30 - 0,5(234 - 224) = 25.$$

Соответственно количество летних дней в апреле:

$$30 - 25 = 5.$$

Также рассчитываем и для октября. $n_{10} = 3$.

Совершаем перерасчет мощности системы отопления:

$$Q_{\text{от}}^{\text{сут}} = Q_{\text{бал}}^{\text{сут}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср}}^{\text{H}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{p}}}, \quad (1.20)$$

где $t_{\text{вн}}$ – нормативная температура воздуха в отапливаемых помещениях зданий, для жилых зданий $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$,

$t_{\text{ср}}^{\text{H}}$ – температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$,

t_p – температура наружного воздуха. Согласно [1] для города Красноярск
 $t_p = -37^\circ\text{C}$.

Таблица 11 – данные по отоплению загородного дома.

Номер месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кол-во дней	31	28	31	30(25)	-	-	-	-	-	31(28)	30	31
$t_{\text{ср}}^{\text{н}}$, °C	-15.5	-13.4	-3.8	+4.4	+9.7	+16. 9	+18. 4	+16. 5	+9. 3	+2	-8.5	-12
$Q_{\text{от}}^{\text{сут}}$, МДж	1486, 6	1398,6 6	996,65	653,2 6	431, 3	129, 8	83,7 5	146,5 6	44 8	753,77	1193, 47	1340
$Q_{\text{от}}^{\text{мес}}$, МДж	46084 ,6	39162, 48	30896, 15	16331 ,5	0	0	0	0	0	21105, 56	35804 ,1	4154 0

2.7 Определение тепловой мощности на ГВС

Горячее водоснабжение в доме (ГВС) – это система, которая обеспечивает поток горячей воды для использования в различных целях, таких как принятие душа, мытье посуды и белья, то есть в санитарно-гигиенических и технологических целях. Обычно горячая вода подается в дом через центральную систему отопления или отдельную котельную, где вода нагревается до определенной температуры и подается по трубам к точкам использования. Важно правильно установить и регулировать систему горячего водоснабжения, чтобы обеспечить удобство использования и оптимальную экономию ресурсов.

Определим тепловую мощность системы ГВС:

$$Q_{\text{ГВ.з}}^{\text{ср}} = \frac{n \cdot q \cdot (t_{\text{Г}} - t_{\text{ХВ.з}}) \cdot c}{10^3}; \quad (1.21)$$

$$Q_{\text{ГВ.л}}^{\text{ср}} = \frac{n \cdot q \cdot (t_{\text{Г}} - t_{\text{ХВ.л}}) \cdot c}{10^3}, \quad (1.22)$$

где n – количество человек,

q – норма расхода ГВС, принимаемая по [9],

$t_r, t_{x6.3}, t_{x6.l}$ – температура горячей, холодной воды зимой и летом, принимаемые по [9],

c – теплоемкость воды.

$$Q_{ГВ.л}^{ср} = \frac{3 \cdot 150 \cdot (60 - 15) \cdot 4.19}{10^3} = 84,85 \frac{\text{МДж}}{\text{день}};$$

$$Q_{ГВ.з}^{ср} = \frac{3 \cdot 150 \cdot (60 - 5) \cdot 4.19}{10^3} = 103,7 \frac{\text{МДж}}{\text{день}}.$$

Тепловая мощность для каждого месяца летом и зимой соответственно:

$$Q_{ГВС} = n \cdot Q_{ГВ.л}^{ср}; \tag{1.23}$$

$$Q_{ГВС} = n \cdot Q_{ГВ.з}^{ср}, \tag{1.24}$$

где n – количество дней в определенном месяце.

Таблица 11 – данные по ГВС загородного дома.

Номер месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кол-во дней	31	28	31	30(25)	31	30	31	31	31	31(28)	30	31
$Q_{ГВС}$, МДж	3214 ,7	2903 ,6	3214 ,7	3016, 75	2630, 35	2545 ,5	2630, 35	2630, 35	2630, 35	3158, 15	311 1	3214 ,7

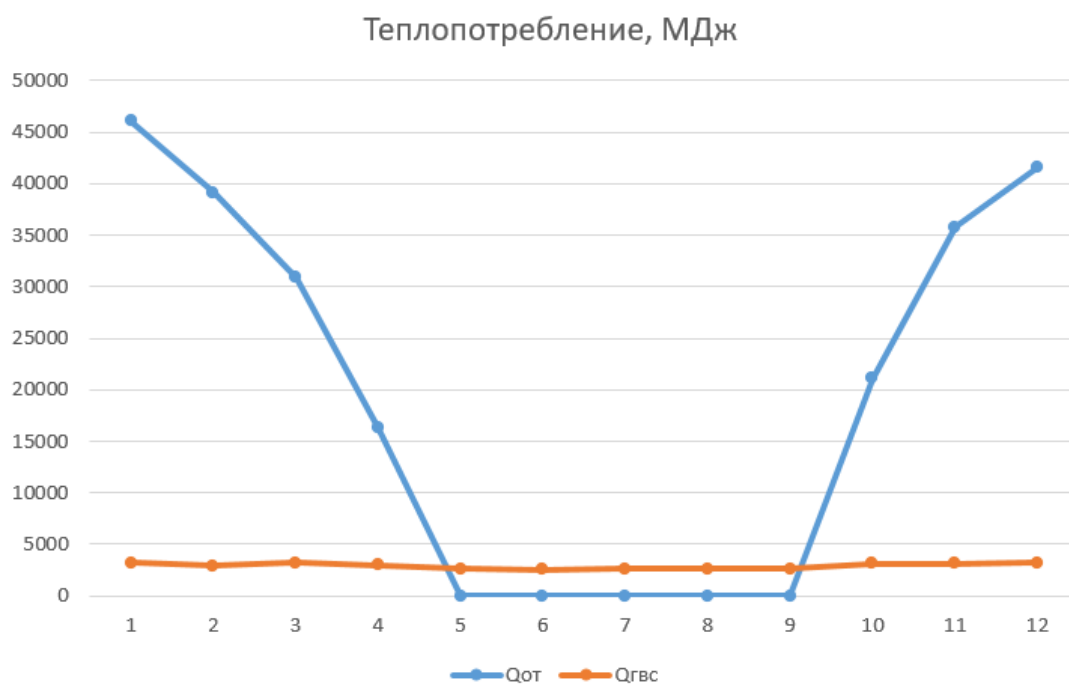


Рисунок 13 – годовое теплопотребление, МДж.

3. Расчет солнечной установки

3.1 Определение наилучшего угла наклона коллекторов

Расчет угла наклона солнечного коллектора проводится по формуле:

$$\beta = \varphi \pm \delta_{\text{ср}}, \quad (2.1)$$

где φ – широта местности,

$\delta_{\text{ср}}$ – средняя величина склонения солнца за рассматриваемый период.

$$\delta_{\text{ср}} = (\delta_1 + \delta_2)/2, \quad (2.2)$$

$\delta_1 + \delta_2$ – соответственно, минимальная и максимальная величина угла склонения за рассматриваемый период.

Угол склонения определяется по формуле:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right), \quad (2.3)$$

где n – порядковый номер дня года.

Минимальный угол склонения:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+1}{365}\right) = -23,38^\circ. \quad (2.4)$$

Максимальный угол склонения:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+365}{365}\right) = -16,4^\circ. \quad (2.5)$$

Средняя величина угла склонения:

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{((-23,38+(-16,4))}{2} = -19,89^\circ. \quad (2.6)$$

Величина оптимального угла наклона солнечного коллектора:

$$\beta = 56 - 19,89 = 36^\circ. \quad (2.7)$$

3.2 Расчет солнечной радиации

Среднемесячное значение интенсивности солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность известны по данным метеостанций. Интенсивность поступающей солнечной радиации на наклонную

поверхность, ориентированную в нужном направлении для разных промежутков времени, может быть определено по формуле:

$$E_k = R \cdot E, \quad (2.8)$$

где E – среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность,

R – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации поступающей на наклонную и горизонтальную поверхность:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + p \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2}, \quad (2.9)$$

где E_p – среднемесячное количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$,

R_n – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность,

β – угол наклона солнечного коллектора к горизонту,

p – альbedo поверхности земли.

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega_{3H} + \frac{\pi}{180} \omega_{3H} \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega_{3Г} + \frac{\pi}{180} \omega_{3Г} \sin\varphi \cdot \sin\delta}, \quad (2.10)$$

где ω_3 – часовой угол захода (восхода) солнца для горизонтальной поверхности,

ω_B – часовой угол захода (восхода) солнца для наклонной поверхности.

$$\omega_{3Г} = \arccos(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta), \quad (2.11)$$

$$\omega_{3H} = \arccos(-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg}\delta), \quad (2.12)$$

Данные солнечной радиации и расчет солнечной суммарных излучений, поступающих на наклонную поверхность в расчетный период сведены в табл. 12.

Таблица 12 – суммарный приход солнечной радиации на наклонную поверхность

Номер месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
δ , град.	- 23,02 2	- 17,16 9	- 7,678	4,449	15,00 8	22,02 4	23,12 3	18,07 3	8,362	- 3,095	- 14,35 1	- 21,76 3
$\omega_{3Г}$, град.	50,95	62,75	78,47	96,62	113,4 2	126,8 4	129,2 7	118,9 3	102,5 8	85,4	67,7	53,7

Номер месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\omega_{\text{зн}}$, град.	81,1	83,54	81,18 7	91,62	95,6	98,46	98,94	96,82	93,06	88,87	84,66	81,85
E_p , $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	23,92	78,95	170,0 4	210,3 1	250,7 2	322,4	272,8 4	186,7 5	126,3	83,5	34,84	18
E , $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	46	147	327	444	486	620	578	377	243	163	67	34
R_n	1,7	2,02	2,18	1,31	0,71	0,497	1,02	1,015	1,95	0,49	2,15	0,76
R	1,2	1,33	1,43	1,05	0,73	0,63	0,9	0,89	1,32	0,63	1,42	0,75
E_k , $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	55,2	195,5 1	467,6 1	466,2	354,7 8	390,6	520,2	335,5 3	320,7 6	102,6 9	95,4	25,5

Так как в проекте предусмотрено совместное использование гелиоустановки и отопительного котла, то для более выгодного покрытия нагрузки, всю приходящую солнечную энергию используем для покрытия нагрузки ГВС, а нагрузку отопления компенсируем отопительным котлом.

3.3 Определение площади теплопоглощающей поверхности

Для обеспечения необходимой тепловой нагрузки горячего водоснабжения определяют площадь поглощающей поверхности по формуле:

$$F_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}}{E_k \cdot \eta_{\text{уст.}}}, \quad (2.13)$$

где $\eta_{\text{уст.}} = 0,6 \div 0,75$ по [10].

Полученные значения вынесем в таблицу 13.

Таблица 13 – расчет площади поверхности коллектора

Номер месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$Q_{\text{ГВС}}$, МДж	3214 ,7	2903 ,6	3214 ,7	3016, 75	2630, 35	2545 ,5	2630, 35	2630, 35	2630, 35	3158, 15	311 1	3214 ,7

Номер месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_{п}, м^2$	89,6 0	22,8 5	10,5 8	9,96	11,41	10,0 3	7,78	12,06	12,62	47,31	50,1 7	193, 95

Для установки принимаются солнечные коллекторы при максимальной величине E_k , которая приходится на июль. Следовательно площадь коллектора составляет 7,78 м².

Для нашего проекта требуется 3 солнечных коллектора SILA 15R1.

Таблица 14 – технические характеристики солнечного коллектора SILA 15R1.

Характеристика	Значение
Модель	15R1
Количество трубок	15 шт
Вакуумная трубка диаметр / длина	Ø 58 / 1800
Материал вакуумной трубки	боросиликатное стекло 3.3
Диаметр конденсатора трубки Heat pipe	24 мм
Покрытие конденсатора	никелевый сплав
Общая площадь коллектора	2,85 м2
Площадь апертуры	1,4 м2
Подключение манифольда	1"
Объем теплоносителя	1,1 л
Рабочая температура	95°C
Рабочее давление	0,6 МПа
Теплоизоляция	каменная вата
Угол установки	min - 15°, max - 75°
Температура окружающей среды	-40 +60°C
Материал корпуса коллектора	алюминиевый сплав 1,5 мм
Материал рамы коллектора	алюминиевый сплав
Габариты (ш х в х г)	1410 x 2020 x 150 мм
Вес	55 кг

4. Подбор оборудования

4.1 Выбор аккумулирующего бака

Необходимость аккумулирования теплоты в гелиосистемах обусловлено несоответствием по времени поступления солнечной радиации и теплотребления. В системах горячего водоснабжения чаще всего используются аккумуляторы емкостного типа. По укрупненным показателям бака-аккумулятора, объем определяют по формуле:

$$V = 0,07 \cdot F_{\text{II}}. \quad (3.1)$$

$$V = 0,07 \cdot 7,78 = 0,5446 \text{ м}^3 = 544,6 \approx 545 \text{ л.}$$

Выберем бак Hajdu AQ PT 750. Буферный накопитель Hajdu AQ PT 750 поставляется «пустой», без теплообменников. Буферные емкости Hajdu AQ PT 750 имеют соединительные патрубки для подключения производителей и потребителей тепловой энергии, а также патрубки для подключения датчиков.

Аккумулирующий бак состоит из металлического бака, мягкой полиуретановой теплоизоляции, из кожуха и крышки из искусственной кожи. Бак и теплообменник изготавливается из стали Ст37-2. Внутренняя поверхность бака не имеет коррозионную защиту, таким образом заполнять можно только водой для отопления.

Буферный накопитель тепла Hajdu AQ PT 750 незаменим при использовании таких устройств, в которых количество производимой тепловой энергии неравномерно (например, солнечный коллектор, твердотопливный котел или тепловой насос).

Теплонакопитель Hajdu AQ PT 750 для систем отопления сглаживает температурные колебания, увеличивает время между топками твердотопливного котла, удешевляет отопление от электрического котла при системе двойных тарифов. Буферная емкость может работать совместно с косвенным накопительным водонагревателем и таким образом обеспечивать

дом горячей водой, нагретой непосредственно от источника тепловой энергии или от буферного накопителя.

Особенности теплоаккумулятора Hajdu AQ PT

- Накопитель энергии для систем отопления закрытого типа;
- Напольный;
- Простой монтаж и обслуживание
- Широкий ассортимент типоразмеров;
- Три модификации: «пустой», с одним змеевиком или с двумя змеевиками;
- Теплоизоляцию можно приобрести отдельно;
- Возможность последующего монтажа электрического нагревательного элемента.

Таблица 15 – технические характеристики теплоаккумулятора Hajdu AQ PT 750

Характеристика	Значение
Марка (Серия)	AQ PT
Тип	Накопительный
Установка	Напольный
Форма корпуса	Цилиндрический
Объём, л	750
Цвет	Серебристый
Вес (кг)	126
Максимальная температура отоп. воды в баке, °C	90
Давление в баке, бар	3
Габариты: (Ш, Г, В), мм	790,790,1860

4.2 Выбор отопительного котла

При выборе отопительного котла следует ориентироваться на суммарную нагрузку отопления и ГВС. Также котел выбирается по зимней нагрузке, ибо гелиоустановка не может полностью обеспечить требуемое энергопотребление.

Требуемая мощность определяется по максимальному потреблению за зимний период, в нашем случае это январь

$$\Sigma Q = Q_{от} + Q_{гвс} = 46084,6 + 3214,7 = 49299,3 \text{ МДж} = 18,41 \text{ кВт.} \quad (3.2)$$

Таким образом, в нашем случае подходит отопительный котел Zota Тополь-20М.

Напольный твёрдотопливный котёл ZOTA Тополь М 20 разработан для обогрева жилых и нежилых помещений. Он оснащён дополнительной теплоизоляцией для увеличения эффективности и может перенастраиваться на работу с газом. Особенности модели:

- Компактная конструкция;
- Трёхходовой теплообменник для максимального отбора тепла;
- Удобная загрузка топлива;
- Охлаждаемый зольный ящик.

Твёрдотопливный котёл ZOTA Тополь М 20 может работать на нескольких видах твёрдого топлива – это традиционные дрова, антрацит и бурый уголь. Также он легко переоборудуется на работу с пеллетами – для этого он оснащается пеллетной горелкой с автоматической подачей пеллет из бункера. Неоспоримым преимуществом котла является большая камера сгорания, позволяющая загружать поленья длиной до 480 мм. Загрузка осуществляется через верхнюю или фронтальную дверцу. В целом котёл получился компактным – он подойдёт для установки в малогабаритной котельной. Время горения на одной закладке достигает 12 часов.

Котёл ZOTA Тополь М 20 может дооборудоваться газовой горелкой для работы на природном и сжиженном газе. Он станет оптимальным выбором для населённых пунктов, где в скором времени появится газовая магистраль. В этом случае котёл дополняется навесной горелкой. Также на борту предусмотрена установка ТЭНов – они поддерживают температуру теплоносителя при исчерпании топлива (актуально в ночное время – во избежание потери температуры в контуре).

Напольный твёрдотопливный котёл ZOTA Тополь М 20 оснастили трёхходовым теплообменником, обеспечивающим эффективный теплосъём. Благодаря этому КПД достигает 80%. Для увеличения эффективности предусмотрена возможность установки вентилятора наддува TurboSet – он обеспечит дожигание несгоревших частиц, что повышает теплоотдачу и КПД. Также вентилятор обеспечивает регулировку интенсивности горения, управляя температурным режимом и увеличивая продолжительность горения. Дополнительную эффективность агрегату обеспечивает охлаждаемый зольный ящик – он забирает остатки тепла и препятствует деформации ящика. Одновременно с этим улучшается циркуляция теплоносителя.

Котёл выполнен в стальном корпусе, окрашенном защитной краской. Изнутри корпус изолирован базальтовым картоном. Он не пропускает тепло, отправляя его в отопительный контур и не давая обжечься. Для контроля температуры и давления в передней части корпуса смонтирован термоманометр. Котёл может использоваться в отопительных системах с естественной и искусственной циркуляцией теплоносителя, с максимальным давлением до 3 атм.

Таблица 15 – технические характеристики котла Zota Тополь-20М

Характеристика	Значение
Родина бренда	Россия
Сборка	Россия
Производитель	Zota
Завод-изготовитель	ТПК Красноярскэнергокомплект
Источник энергии	твёрдотопливный
Способ горения	прямое горение
Работа на природном	опция
Работа на сжиженном	нет
Работа на дровах	да
Работа на угле	да
Работа на пеллетах	опция
Камера сгорания	открытая (атмо)

Характеристика	Значение
Установка	напольный
Характеристика	Значение
Характеристика	Значение
Встроенный ТЭН	нет
Основной цвет	синий
Мин. полезная мощность	20.00 кВт
Макс. полезная мощность	20.00 кВт
КПД	75.0 %
Расширительный бак	Расширительный бак
Диаметр дымохода	150
Теплообменник	литой
Максимальное давление в системе	3.0 бар
Циркуляционный насос	нет
Использование антифриза	допускается
Макс. t системы отопления	95.0°C
Габариты (ВxШxГ)	945x430x870
Масса НЕТТО	140.00 кг
Масса БРУТТО	154.00 кг
Подающая линия контура отопления	1 1/2" (Ø 40)
Обратная линия контура отопления	1 1/2" (Ø 40)

5. Экономическое обоснование проекта

Экономический эффект от применения солнечных коллекторов достигается за счет экономии условного топлива. Количество сэкономленного за год условного топлива благодаря использованию солнечной системы теплоснабжения определяется по формуле:

$$B = 3,6 \cdot \frac{Q_{уст}}{\eta_k \cdot Q_p^p}, \quad (4.1)$$

где $Q_{уст}$ – теплопоступления от солнечных коллекторов, $\frac{\text{МДж}}{\text{год}}$,

η_k – КПД котла,

Q_p^p – теплота сгорания условного топлива, равная $29,3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

$$Q_{уст} = \sum Q_i. \quad (4.2)$$

$$Q_i = F_{п} \cdot \eta_{уст.} \cdot E_k. \quad (4.3)$$

Таблица 16 – расчет теплопоступлений от солнечных коллекторов

Номер месяца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$F_{п}, \text{м}^2$	89, 60	22,85	10,58	9,96	11,41	10,0 3	7,78	12,06	12,62	47,31	50,1 7	193,9 5
$\eta_{уст.}$	0,75											
$E_k, \frac{\text{МДж}}{\text{м}^2}$	55, 2	195,5 1	467,6 1	466, 2	354,7 8	390, 6	520, 2	335,5 3	320,7 6	102,6 9	95,4	25,5
$Q_{уст}, \text{МДж}$	32 14, 85	2903, 81	3215, 75	301 8,18	2631, 23	254 6,52	263 0,65	2630, 22	2631, 19	3157, 87	311 1,04	3214, 72

$$B = 3,6 \cdot \frac{34,9064}{0,8 \cdot 29,3} = 5,36 \text{ т.у.т.}$$

Капитальные затраты определяются по формуле:

$$K = K_{гy} + K_{ба} + K_n + K_k + 0,25 (K_{гy} + K_{ба} + K_n + K_k) + 0,04 (K_{гy} + K_{ба} + K_n + K_k), \quad (4.4)$$

где $K_{гy}$ – затраты на гелиоустановку (солнечные коллекторы),

$K_{ба}$ – затраты на бак-аккумулятор,

K_n – затраты на насос,

K_k – затраты на отопительный котел.

Также в капитальные затраты входят электромонтажные работы (25%) и пуско-наладочные работы (3-5% от стоимости оборудования).

Таблица 16 –перечень оборудования и стоимость

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена, руб за шт.	Стоимость, руб.
Солнечный коллектор SILA 15R1.	3	33 300	99900
Теплоаккумулятор Hajdu AQ PT 750.	1	91 978	91 978
Насос циркуляционный ALPHA1 L 25-40 180	1	17 120	17 120
котел Zota Тополь-20М	1	54 670	54 670

$$K = 99900 + 91\,978 + 17\,120 + 54\,670 + 0,25(99900 + 91\,978 + 17\,120 + 54\,670) + 0,04(99900 + 91\,978 + 17\,120 + 54\,670) = 269594,6 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости проекта можно определить по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{B \cdot C_T}, \quad (4.5)$$

где C_T – стоимость 1 т.у.т. топлива.

Для расчета стоимости, требуется перевести т.у.т. в тонны (пеллеты).

Коэффициент для пересчета 0,36.

$$B = \frac{5,36}{0,36} = 14,9 \text{ т.} \quad (4.6)$$

Стоимость 1 т. пеллетов составляет 9500 р.

Таким образом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{269594,6}{14,9 \cdot 9500} = 2 \text{ года.}$$

С точки зрения экономики это очень хороший показатель. Экономически выгодный проект оценивается с точки зрения окупаемости в 10-12 лет

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе было рассмотрено использование возобновляемых источников энергии при теплоснабжении жилых объектов.

В ходе работы было выполнено:

- Изучение гелиоустановки: ее устройство, принцип работы, типы гелиосистем, а также виды солнечных коллекторов.
- Теплотехнический расчет: расчет теплопотерь здания, гидравлический расчет системы.
- Расчет солнечной установки: определение наилучшего угла наклона коллекторов, их площадь, также выполнен расчет солнечной радиации.
- Подбор требуемого оборудования.
- Экономический расчет.

В результате определено, что данный проект экономически эффективен, так как окупаемость составляет 2 года. Экономия топлива по расчету составляет около 14,9 тонн.

С точки зрения экологии - это достаточный вклад в ее сохранность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 131.13330.2018 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*/ Минстрой России. – М.: Стандартинформ, 2019. 107 с.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003*/ Минстроя России. – М.: Стандартинформ, 2012. – 100 с.
3. СанПиН 1.2.3685-21. "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания": утвержден Минюстом России 29.01.2021 №62296: действует с 01.03.2021. – Москва, 2022. – 720 с.
4. ГОСТ 15588-2014 Плиты пенополистирольные теплоизоляционные. Технические условия/ Стандартинформ. – Взамен ГОСТ 15588 – 86: введен 01.07.2015. – Москва, 2019, - 13 с.
5. СНиП 2.04.05-91* Отопление, вентиляция и кондиционирование / Госстрой России. — М.: ГУП ЦПП, 1997. — 72 с.
6. URL: <https://www.aboutdc.ru/page/1755.php#anchor4> (Дата обращения: 03.05.2023).
7. ГОСТ 31168-2014 Здания жилые. Метод определения удельного потребления тепловой энергии на отопление: введен 01.01.2015. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 18 с.
8. СП 23-101-2000 Проектирование тепловой защиты зданий/ Госстрой России. - ГУП ЦПП, 2000. – 97 с.
9. СНиП 2.04.01–85* Внутренний водопровод и канализация зданий. Системы внутреннего холодного и горячего водоснабжения/ ГПИ Сантехпроект Госстроя СССР. – 1986. – 57 с.
10. Бутузов В. Солнечное теплоснабжение в России. Проектирование, строительство, эксплуатация. Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. Германия. JSBN 978–3-659–12579–9. 2012.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
институт
Теплотехники и гидрогазодинамики
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



В. А. Кулагин

подпись

инициалы, фамилия

« 29 » июня 2023 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Использование возобновляемых источников энергии при теплоснабжении
жилых объектов

тема

Руководитель

 23.06.23

подпись, дата

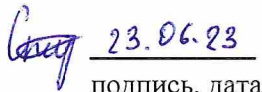
ст. преподаватель

должность, ученая степень

Л.Я. Жадаева

инициалы, фамилия

Выпускник

 23.06.23

подпись, дата

А.П. Спиридонов

инициалы, фамилия

Красноярск

2023